



Catarina da Silva Amaro

Licenciada em Ciências de Engenharia Química e Bioquímica

**Estudo das Emissões de Gases com
Efeito de Estufa dos Ciclos de Vida do
Biodiesel de Soja e Colza Produzidos na
Sovena Oilseeds**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Marina Reis, Engenheira Mestre, Grupo Sovena Oilseeds Portugal
S.A.

Co-orientador: Pedro Simões, Professor Doutor, Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutor Mário Fernando José Eusébio, Professor Auxiliar da
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Arguente: Doutor Svetlozar Gueorguiev Velizarov, Investigador Auxiliar
da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de
Lisboa

Vogal: Mestre Sandra Marina Reis do Couto Ferreira dos Santos, Chefe
de Serviço de Refinaria, Grupo Sovena Oilseeds Portugal S.A.



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Abril 2015

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Química e Bioquímica

Da aluna

Catarina da Silva Amaro

Nº 28786

Do Mestrado Integrado em Engenharia Química e Bioquímica da Faculdade de
Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa

Estudo das Emissões de Gases com Efeito de Estufa dos Ciclos de Vida do
Biodiesel de Soja e Colza Produzidos na Sovena Oilseeds

Orientador: Marina Reis, Engenheira Mestre, Grupo Sovena Oilseeds Portugal
S.A.

Co-orientador: Pedro Simões, Professor Doutor, Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutor Mário Fernando José Eusébio, Professor Auxiliar da
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Arguente: Doutor Svetlozar Gueorguiev Velizarov, Investigador Auxiliar da
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Vogal: Mestre Sandra Marina Reis do Couto Ferreira dos Santos, Chefe de
Serviço de Refinaria, Grupo Sovena Oilseeds Portugal S.A.

Abril de 2015

Copyright

Estudo das Emissões de Gases com Efeito de Estufa dos Ciclos de Vida do Biodiesel de Soja e Colza Produzidos na Sovena Oilseeds

Copyright © Catarina da Silva Amaro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Aos homens e mulheres que, de uma forma mais ou menos reconhecida, trabalharam no complexo industrial do Barreiro, precursor da Sovena Oilseeds, e que contribuíram para o desenvolvimento da indústria química, para o actual conhecimento e dimensão do Grupo Sovena Oilseeds e para as características intrínsecas e percurso de vida da população e da cidade do Barreiro.

*Mudam-se os tempos, mudam-se as vontades,
Muda-se o ser, muda-se a confiança:
Todo o mundo é composto de mudança,
Tomando sempre novas qualidades.*

Luís Vaz de Camões, *Sonetos*

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Grupo Sovena por me ter possibilitado esta oportunidade de crescimento académico e pessoal e por terem investido em mim.

A toda a equipa do Grupo Sovena com quem pude contactar. Fui muito bem recebida por todos e senti-me “parte da família”. Um obrigado à Engenheira Ana Marques, à Engenheira Sara Rodrigues, aos Engenheiros Paiva e Soares, ao Engenheiro Miguel, ao Engenheiro Henrique Feio e à Engenheira Lina Dionísio. Agradeço também a todos os colaboradores da empresa pelo companheirismo, amizade e apoio prestado.

A toda a minha família pelo apoio dado durante o meu percurso académico. Sem eles não seria o mesmo. Aos meus pais António e Isabel por todos os ensinamentos, cuidados, disponibilidade e paciência. Não poderia ter melhores pais. Obrigado por acreditarem em mim.

Aos meus amigos de infância Ana, Inês, Sara, Vanessa e Filipes pela amizade e apoio a qualquer hora do dia.

Aos meus amigos da faculdade Sara, Margarida, Liliana, Ana e Tiago, pela companhia e incentivo.

Ao Professor Doutor Pedro Simões por me ter apoiado e orientado durante todo este trabalho.

Ao Professor Doutor Fausto Freire e à Investigadora-Mestre Érica Castanheira do Centro para a Ecologia Industrial (CIE), ADAI-LAETA da Universidade de Coimbra pelos esclarecimentos relativos ao tema em estudo.

Ao consultor da empresa Peterson, Prakhar Goel pela formação em *Carbon Footprinting* e por dar o seu parecer relativamente às contabilizações e cálculos feitos neste trabalho.

Por fim, um especial agradecimento à Engenheira Marina Reis sempre disponível e atenta ao desenvolvimento do trabalho, estimulando em mim um pensamento crítico e uma visão mais ampla sobre as problemáticas abordadas, mas simultaneamente apoiando e esclarecendo dúvidas e indecisões. Neste meu primeiro contacto com o mundo industrial os seus conhecimentos, saber ser e saber estar, foram o alicerce de toda a minha aprendizagem. Trabalhar consigo fez de mim uma pessoa mais metódica e profissional, que hoje percebe a dinâmica interpessoal da fábrica, o seu funcionamento e interligações com outras empresas.

A todos, obrigado.

Resumo

Na sociedade actual a problemática das emissões de gases com efeito de estufa assume grande importância na agenda mundial dos países devido às alterações climáticas e repercussões na superfície da Terra e na atmosfera.

Por o consumo de combustíveis fósseis ser um significativo emissor de gases com efeito de estufa os países têm feito esforços para impulsionar uma mudança no sector da energia, com recurso a energias obtidas a partir de fontes renováveis, mas garantindo a sustentabilidade dessas energias.

A produção de biodiesel a partir de sementes oleaginosas como a soja e colza tem sido uma estratégia adoptada por alguns países e unidades industriais. A Sovena Oilseeds Portugal S.A. produz biodiesel de soja e colza e para garantir a sustentabilidade da sua produção e o cumprimento das imposições legais, quantifica as emissões de gases com efeito de estufa dos ciclos de vida do biodiesel de soja e de colza.

Neste trabalho apresentam-se os resultados do cálculo das emissões de gases com efeito de estufa dos ciclos de vida dos biodiesel de soja e colza produzidos pela Sovena nos anos de 2013 e 2014 e respetivas reduções das emissões, segundo a metodologia do *International Sustainability and Carbon Certification*, relativamente ao combustível fóssil de referência.

Os resultados deste estudo foram obtidos com recurso a uma ferramenta de cálculo em Excel criada no âmbito desta dissertação, que permite o cálculo das emissões de gases com efeito de estufa ao longo dos ciclos de vida do biodiesel de soja e de colza produzidos na Sovena em 2013 e 2014.

A análise dos resultados permitiu constatar que as emissões de gases com efeito de estufa do biodiesel de soja produzido na Sovena Oilseeds Portugal S.A. são aproximadamente 48% abaixo das do combustível fóssil de referência nos anos de 2013 e de 2014, e as do biodiesel de colza 51% e 50% abaixo das do combustível fóssil de referência em 2013 e 2014 respectivamente.

Este estudo confirma a sustentabilidade do biodiesel de soja e de colza produzidos na Sovena Oilseeds Portugal S.A. em 2013 e 2014, já que a meta legalmente definida é de emissões inferiores a 35% quando comparadas com as do combustível fóssil de referência até 2016.

O estudo evidencia que nos ciclos de vida dos biodiesel de soja e de colza produzidos na Sovena Oilseeds Portugal S.A. em 2013 e 2014 a etapa de cultivo é a que mais contribui para as emissões de gases com efeito de estufa, e que na etapa de processamento do biodiesel de soja e de colza a taxa de emissões de gases com efeito de estufa mais elevada provém da transesterificação, seguindo-se a extracção e o pré-tratamento.

Palavras-Chave: Gases com Efeito de Estufa; Ciclo de Vida; Biodiesel de Soja; Biodiesel de Colza; Metodologia do *International Sustainability and Carbon Certification*; Sustentabilidade

Abstract

In today's society the problem of greenhouse gas emissions is of great importance in the global agenda of countries due to climate change and their effects on the Earth's surface and atmosphere.

Since the consumption of fossil fuels is a significant emitter of greenhouse gases, countries have made efforts to promote a change in the energy sector, using energy obtained from renewable sources, while ensuring the sustainability of these energies.

The production of biodiesel from oilseeds such as soybeans and rapeseed has been a strategy adopted by some countries and industrial units. Sovena Oilseeds Portugal S.A. produces soybean and rapeseed biodiesel and to ensure the sustainability of their production and compliance with legal requirements, quantifies the greenhouse gas emissions of soybean and rapeseed biodiesel life cycles.

In this work we present the results of the calculation of greenhouse gas emissions of soybean and rapeseed biodiesel life cycles produced by Sovena in the years 2013 and 2014 and respective emission reductions, according to the methodology of the International Sustainability and Carbon Certification, relative to the reference fossil fuel.

The results were obtained using a calculation tool in Excel created within this dissertation, which allows the calculation of greenhouse gas emissions over the soybean and rapeseed biodiesel life cycles produced in Sovena in 2013 and 2014.

The results helped to confirm that the greenhouse gas emissions of soybean biodiesel produced in Sovena Oilseeds Portugal S.A. is approximately 48% lower than the reference fossil fuel in the years 2013 and 2014, and of rapeseed biodiesel, 51% and 50% lower than the reference fossil fuel in 2013 and 2014, respectively.

This study confirms the sustainability of soybean and rapeseed biodiesel produced in Sovena Oilseeds Portugal S.A. in 2013 and 2014, as the legally defined goal of emissions is of 35% lower when compared to the reference fossil fuel until 2016.

The study shows that in the life cycles of soybean and rapeseed biodiesel produced in Sovena Oilseeds Portugal S.A. in 2013 and 2014 the cultivation stage is the largest contributor to the greenhouse gas emissions, and that the processing step of soybean and rapeseed biodiesel that has higher rate of greenhouse gas emissions comes from transesterification, followed by extraction and pretreatment.

Keywords: Greenhouse Effect; Life Cycle; Soybean Biodiesel; Rapeseed Biodiesel; Methodology of the International Sustainability and Carbon Certification; Sustainability

Índice

| | |
|--|-------|
| Agradecimentos..... | ix |
| Resumo..... | xi |
| Abstract..... | xiii |
| Índice de Figuras | xix |
| Índice de Tabelas | xxi |
| Lista de Siglas | xxiii |
| Lista de Abreviaturas e Símbolos | xxv |
| 1 – Introdução..... | 27 |
| 2 – Emissão de Gases com Efeito de Estufa e Aquecimento Global | 31 |
| 2.1 - Principais Gases com Efeito de Estufa | 33 |
| 3 – Sustentabilidade Energética | 41 |
| 3.1 - Situação Energética em Portugal..... | 44 |
| 4 – Biocombustíveis | 47 |
| 4.1 - Produção de Biocombustíveis em Portugal..... | 51 |
| 5 – Sustentabilidade: Legislação e Directivas Europeias e Nacionais..... | 55 |
| 5.1 – Protocolo de Quioto à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas de 1992 | 55 |
| 5.2 – Directiva das Energias Renováveis (RED): Viragem Rumo à Sustentabilidade... .. | 58 |
| 5.3 – Decreto-Lei nº 117/2010..... | 62 |
| 6 – Sustentabilidade: Metodologias de Certificação..... | 65 |
| 6.1 – Sistema de Certificação ISCC..... | 67 |
| 6.2 – Tipos de Informação Utilizada | 68 |
| 6.3 – Bases de Dados Complementares: BioGrace e EcolInvent..... | 69 |
| 7 – Grupo Sovena | 71 |
| 7.1 – História | 72 |
| 7.2 – Fábrica | 75 |
| 8 – Processo de Produção | 77 |
| 8.1 – Etapa de Extracção | 77 |
| 8.2 – Etapa de Pré-Tratamento | 80 |
| 8.3 – Etapa de Transesterificação..... | 82 |
| 9 – Metodologia de Análise de Ciclo de Vida | 87 |
| 9.1 – Modelo de Ciclos de Vida do Biodiesel de Soja e Colza | 88 |
| 10 – Metodologia de Cálculo..... | 91 |
| 10.1 – Metodologia ISCC Utilizada no Cálculo das Emissões de Gases com Efeito de Estufa | 91 |

| | |
|--|-----|
| 10.1.1 – Emissões provenientes do cultivo de matérias-primas (e_{ec})..... | 91 |
| 10.1.2 – Contabilização anual das emissões resultantes de alterações do carbono armazenado devido a alterações do uso do solo (e_l) | 94 |
| 10.1.3 – Emissões do combustível na utilização (e_u)..... | 96 |
| 10.1.4 – Emissões do processamento (e_p) | 97 |
| 10.1.5 – Emissões do transporte e distribuição (e_{td})..... | 104 |
| 10.1.6 – Redução de emissões resultante da captura e substituição de carbono (e_{ccr}) | 108 |
| 10.1.7 – Redução de emissões resultante da captura e fixação de carbono e armazenamento geológico de carbono (e_{ccs}) | 108 |
| 10.1.8 – Redução de emissões resultante da acumulação de carbono no solo através de gestão agrícola melhorada (e_{sca}) | 108 |
| 10.1.9 – Redução de emissões resultante da produção excedentária de electricidade na co-geração (e_{ee}) | 109 |
| 10.1.10 – Alocação energética com base no Poder Calorífico Inferior (PCI) do produto principal e co-produtos | 113 |
| 11 – Tratamento, Apresentação e Discussão de Resultados | 119 |
| 11.1 – Comparação das Emissões de GEE do Biodiesel de Soja e Colza com o Combustível Fóssil de Referência | 119 |
| 11.2 – Emissões do Processamento (e_p) na Sovena | 123 |
| 12 – Conclusões..... | 135 |
| 13 – Referências Bibliográficas | 139 |
| Anexos..... | 143 |
| ANEXO 1 – Métodos de cálculo do impacto na formação de gases com efeito de estufa | 145 |
| ANEXO 2 – Tabela de Propriedades Termodinâmicas da Água | 146 |
| Apêndices..... | 147 |
| APÊNDICE I – Emissões de Gases com Efeito de Estufa Proveniente do Cultivo de Matérias-Primas: Colza | 149 |
| APÊNDICE II – Contabilização anual das Emissões Provenientes de Alterações do Carbono Armazenado Devidas a Alterações do Uso dos Solos: Colza..... | 150 |
| APÊNDICE III – Consumos e Produções da Etapa de Extracção do Óleo de Colza na Sovena..... | 151 |
| APÊNDICE IV – Consumos e Produções da Etapa de Pré-Tratamento do Óleo de Colza na Sovena | 152 |
| APÊNDICE V – Consumos e Produções da Etapa de Transesterificação do Óleo de Colza na Sovena | 153 |
| APÊNDICE VI – Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Extracção do Óleo de Colza no Processamento na Sovena..... | 154 |

| | |
|--|-----|
| APÊNDICE VII – Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Pré-Tratamento do Óleo de Colza no Processamento na Sovena | 155 |
| APÊNDICE VIII – Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Transesterificação do Óleo de Colza no Processamento na Sovena | 156 |
| APÊNDICE IX – Emissões de GEE Provenientes do Transporte por Camião: Colza . | 157 |
| APÊNDICE X – Emissões de GEE Provenientes do Transporte por Navio: Colza | 158 |
| APÊNDICE XI – Emissões de GEE Provenientes do Transporte por Comboio: Colza | 159 |
| APÊNDICE XII – Redução de Emissões de GEE Resultantes da Produção Excedentária de Electricidade no Co-geração na Sovena: Colza | 160 |
| APÊNDICE XIII – Cálculo dos Factores de Alocação Energética dos Produtos da Cadeia de Produção de Biodiesel de Colza na Sovena | 161 |
| APÊNDICE XIV – Inventários BioGrace-JEC (JEC, 2008b) (BioGrace, 2008) | 162 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Evolução das emissões de CO ₂ (British Petroleum, 2014)..... | 32 |
| Figura 2. Evolução das emissões de CO ₂ em Portugal (British Petroleum, 2014)..... | 32 |
| Figura 3. Evolução das emissões de CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O. Fonte: (Karl, Melillo, & Peterson, 2009)..... | 33 |
| Figura 4. Emissões mundiais de CO ₂ por sector (International Energy Agency, 2014). ... | 36 |
| Figura 5. Redução de 80% das emissões de GEE na União Europeia em 2050 discriminada por sectores (100%=1990). Fonte:(Comissão Europeia, 2011b)..... | 38 |
| Figura 6. Distribuição do consumo mundial de petróleo por sector em 1973, 2004 e 2012 (International Energy Agency, 2014). | 42 |
| Figura 7. Evolução do consumo de biocombustíveis em Mtep no sector dos transportes na UE entre 2002 e 2013 (EuroObserv'ER, 2014a). | 43 |
| Figura 8. Comparação da dependência energética (%) entre Portugal e EU-27 de 1998 a 2013 (Eurostat, 2013)..... | 45 |
| Figura 9. Evolução do consumo de energia primária em Portugal em ktep entre 2000 e 2011 (DGEG, 2015)..... | 45 |
| Figura 10. Evolução da produção energética em Portugal entre 1990 e 2012 (International Energy Agency, 2013)..... | 46 |
| Figura 11. Evolução da produção de biocombustíveis entre 1990 e 2012 (British Petroleum, 2014)..... | 47 |
| Figura 12. Evolução da produção de biocombustíveis em Portugal entre 2005 e 2012 (British Petroleum, 2014)..... | 48 |
| Figura 13. Distribuição do consumo europeu de biocombustíveis no sector de transporte em 2013 (EuroObserv'ER, 2014a)..... | 50 |
| Figura 14. Óleos vegetais utilizados em 2012 para a produção de biodiesel (Gírio et al., 2013)..... | 52 |
| Figura 15. Mapa com os países de origem do grão de soja utilizado na produção de biodiesel na Sovena Oilseeds. | 52 |
| Figura 16. Mapa com os países de origem da semente de colza utilizada na produção de biodiesel na Sovena Oilseeds. | 53 |
| Figura 17. Distribuição geográfica das relações produtivas e comerciais do grupo Sovena. Fonte: (Sovena, 2013)..... | 71 |
| Figura 18. Companhia União Fabril (CUF) – Barreiro. Fonte: (Sovena, 2013). | 73 |
| Figura 19. Localização da unidade industrial Sovena Oilseeds Almada, Portugal. Fonte: (Sovena, 2012) | 75 |
| Figura 20. Planta geral do complexo industrial Sovena Oilseeds Portugal em Almada. Fonte: (Sovena, 2012)..... | 76 |
| Figura 21. Fluxograma da etapa de Extração do óleo bruto de colza e girassol na Sovena Oilseeds. Fonte: (Sovena, 2012)..... | 78 |
| Figura 22. Fluxograma da etapa de Extração do óleo bruto de soja na Sovena Oilseeds. Fonte: (Sovena, 2012)..... | 79 |
| Figura 23. Fluxograma da etapa de Pré-Tratamento na Sovena Oilseeds. Fonte: (Sovena, 2012)..... | 81 |
| Figura 24. Reacção geral de formação de biodiesel (Ruas, 2011)..... | 82 |

| | |
|--|-----|
| Figura 25. Reacções sequenciais envolvidas no processo de produção do biodiesel (Ruas, 2011)..... | 82 |
| Figura 26. Reacção de formação de metilato de sódio (Ruas, 2011). | 83 |
| Figura 27. Mecanismo esquemático da reacção de transesterificação por catálise básica (Ruas, 2011)..... | 84 |
| Figura 28. Fluxograma da etapa de Transesterificação na Sovena Oilseeds. Fonte: (Sovena, 2012)..... | 85 |
| Figura 29. Ciclo de Vida do Biodiesel de Soja (Camobreco et al., 1998)..... | 89 |
| Figura 30. Fluxograma dos Ciclos de Vida dos Biodiesel de Soja e Colza Produzidos na Sovena Oilseeds. Fonte: (Sovena, 2013)..... | 90 |
| Figura 31. Esquema genérico do funcionamento da co-geração da Sovena Oilseeds. . | 111 |
| Figura 32. Comparação das Emissões de GEE do Biodiesel de Soja produzido em 2013 e 2014 na Sovena Oilseeds com as emissões por defeito associadas ao mesmo biocombustível que constam na Directiva RED (2009/28/CE) e respectivas reduções relativamente ao combustível fóssil de referência. | 120 |
| Figura 33. Comparação das Emissões de GEE do Biodiesel de Colza produzido em 2013 e 2014 na Sovena Oilseeds com as emissões por defeito associadas ao mesmo biocombustível que constam na Directiva RED (2009/28/CE) e respectivas reduções relativamente ao combustível fóssil de referência. | 121 |
| Figura 34. Emissões de GEE discriminadas por etapa do processamento (ep) do Biodiesel de Soja e Colza para a Sovena em 2013 e 2014 e comparação com as respectivas emissões discriminadas na plataforma BioGrace-JEC e emissões por defeito para o processamento (incluindo electricidade excedentária) (ep-eee) que constam na Directiva RED (2009/28/CE). | 124 |
| Figura 35. Consumo de químicos na produção de Biodiesel de Soja e Colza na Sovena Oilseeds no ano de 2013 e comparação com os consumos tabelados por defeito na plataforma BioGrace-JEC para o Biodiesel de Soja e Colza (BioGrace, 2008). | 126 |
| Figura 36. Comparação do consumo de Electricidade na produção de Biodiesel de Soja e Colza na Sovena Oilseeds em 2013 com os valores por defeito do BioGrace-JEC..... | 127 |
| Figura 37. Comparação do consumo de Vapor de Água na produção de Biodiesel de Soja e Colza na Sovena Oilseeds em 2013 com os valores por defeito do BioGrace-JEC.... | 128 |
| Figura 38. Consumo de Gás Natural na produção de Biodiesel de Soja e Colza na Sovena Oilseeds em 2013..... | 129 |
| Figura 39. Emissões de GEE calculadas na Extracção de Óleo de Soja na Sovena Oilseeds em 2013. | 130 |
| Figura 40. Emissões de GEE calculadas na Extracção de Óleo de Colza na Sovena Oilseeds em 2013. | 130 |
| Figura 41. Emissões de GEE calculadas no Pré-Tratamento do Óleo Bruto de Soja na Sovena Oilseeds em 2013..... | 131 |
| Figura 42. Emissões de GEE calculadas no Pré-Tratamento do Óleo Bruto de Colza na Sovena Oilseeds em 2013..... | 132 |
| Figura 43. Emissões de GEE calculadas na Transesterificação para produção de Biodiesel na Sovena Oilseeds em 2013..... | 133 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 1. Reduções de GEE Observadas em 2005 e Previstas para 2030 e 2050 Descriminadas por Sector (Comissão Europeia, 2011b). | 39 |
| Tabela 2. Consumo Mundial de Energias Primárias em Mtep registadas em 2013 (British Petroleum, 2014). | 41 |
| Tabela 3. Capacidade Instalada e Ano de Início de Actividade de Produtores de Biodiesel em Portugal em 2012 (Gírio et al., 2013). | 51 |
| Tabela 4. Metas Nacionais de Incorporação de Biocombustíveis No Sector dos Transportes Terrestres (Diário da República, 2010). | 62 |
| Tabela 5. Emissões de GEE Provenientes do Cultivo de Matérias-Primas, e_{ec} | 93 |
| Tabela 6 – Contabilização Anual das Emissões Provenientes de Alterações do Carbono Armazenado Devidas a Alterações do Uso dos Solos, e_l | 96 |
| Tabela 7. Consumos e Produções da Etapa de Extracção do Óleo de Soja na Sovena em 2013. | 98 |
| Tabela 8. Consumos e Produções da Etapa de Pré-Tratamento do Óleo de Soja na Sovena em 2013. | 99 |
| Tabela 9. Consumos e Produções da Etapa de Transesterificação do Óleo de Soja na Sovena em 2013. | 99 |
| Tabela 10. Propriedades do Gás Natural (Diário da República, 2008). | 101 |
| Tabela 11. Factores de Emissão para o Cálculo das Emissões de GEE no Processamento na Etapa de Extracção. | 101 |
| Tabela 12. Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Extracção no Processamento, $e_{p \text{ extracção}}$ | 102 |
| Tabela 13. Factores de Emissão para o Cálculo das Emissões de GEE no Processamento na Etapa de Pré-Tratamento. | 102 |
| Tabela 14. Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Pré-Tratamento no Processamento, $e_{p \text{ pré-tratamento}}$ | 103 |
| Tabela 15. Factores de Emissão para o Cálculo das Emissões de GEE no Processamento na Etapa de Transesterificação. | 103 |
| Tabela 16. Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Transesterificação no Processamento, $e_{p \text{ transesterificação}}$ | 104 |
| Tabela 17. Emissões de GEE Provenientes do Transporte por Camião, $e_{td \text{ camião}}$ | 106 |
| Tabela 18. Emissões de GEE Provenientes do Transporte por Navio, $e_{td \text{ navio}}$ | 107 |
| Tabela 19. Emissões de GEE Provenientes do Transporte por Comboio, $e_{td \text{ comboio}}$ | 107 |
| Tabela 20. Redução de Emissões de GEE Resultantes da Produção Excedentária de Electricidade na Co-geração em 2013, e_{ee} | 113 |
| Tabela 21. Poder Calorífico Inferior (PCI) e Teor de Humidade dos Produtos da Cadeia de Produção do Biodiesel de Soja Produzidos na Sovena em 2013. | 115 |
| Tabela 22. Poder Calorífico Inferior (PCI) e Teor de Humidade dos Produtos da Cadeia de Produção do Biodiesel de Colza Produzidos na Sovena em 2013. | 115 |
| Tabela 23. Cálculo dos Factores de Alocação Energética dos Produtos da Cadeia de Produção de Biodiesel de Soja na Sovena em 2013. | 117 |
| Tabela 24. Total de Emissões de GEE do Biodiesel de Soja e do Biodiesel de Colza Produzidos na Sovena em 2013 e 2014. | 119 |

O presente documento não se encontra escrito ao abrigo do novo acordo ortográfico.

Lista de Siglas

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment* – LCA, na terminologia internacional)

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

CE – Comissão Europeia

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

DL – Decreto-Lei

ECS – Entidade Coordenadora do Cumprimento dos Critérios de Sustentabilidade

EF – *Emission Factor*

EUA – Estados Unidos da América

FAME – *Fatty Acid Methyl Esters*

GEE – Gases com Efeito de Estufa

GWP – *Global Warming Potential*

IAPWS – *International Association for the Properties of Water and Steam*

IEA – *International Energy Agency*

ILUC – *Indirect Land Use Change*

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

ISCC – *International Sustainability and Carbon Certification*

ISO – *International Organization for Standardization*

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

ONG – Organização Não Governamental

ONU – Organização das Nações Unidas

PIAC – Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas

PIB – Produto Interno Bruto

PPD – Pequenos Produtores Dedicados

UE – União Europeia

USGS – *United States Geological Survey*

WWF - *World Wide Fund for Nature* (anteriormente *World Wildlife Fund*)

Lista de Abreviaturas e Símbolos

CO₂ – Dióxido de Carbono

H₂SO₄ – Ácido Sulfúrico

H₃PO₄ – Ácido Fosfórico

HCl – Ácido Clorídrico

kg – Quilograma

kJ – Quilojoule

ktep – Quilotonelada equivalente de petróleo

kWh – Quilowatt-hora

Mtep – Milhões de toneladas equivalentes de petróleo

NaOH – Soda Cáustica

°C – Grau Celsius

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCI_{PO} – Poder Calorífico Inferior do Produto Original

PCI_{PS} – Poder Calorífico Inferior do Produto Seco

ppb – partes por bilhão

ppm – partes por milhão

tep – Tonelada equivalente de petróleo

1 – Introdução

A crescente dependência da sociedade contemporânea dos combustíveis de origem fóssil, essencialmente no que respeita aos consumos inerentes ao estilo de vida dos cidadãos, da indústria e do sector dos transportes, determinaram a necessidade de se reflectir e definir estratégias que possibilitassem um processo gradual de mudança na produção e consumo energético. Esta necessidade advém não só do reconhecimento da finitude dos recursos fósseis, o que condiciona o aumento do seu preço de refinação e venda e uma crescente dependência das nações em relação aos países produtores de petróleo.

Simultaneamente, também se constata que o elevado consumo de combustíveis de origem fóssil tem produzido alterações a nível do planeta em vários âmbitos, com especial representatividade para as decorrentes das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) com repercussões climáticas significativas.

Deste enquadramento emerge a necessidade de legislar e definir critérios e metas a cumprir visando o aumento da eficiência energética, a poupança de energia e a utilização crescente de energia proveniente de fontes renováveis. A União Europeia assume a coordenação do processo de mudança estabelecendo as suas linhas orientadoras na Directiva 2009/28/CE (RED), posteriormente plasmada na legislatura portuguesa no Decreto-Lei nº 117/2010, assim como os critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis e biolíquidos.

Mas, a expansão da bioenergia tem vindo a suscitar sérias preocupações sobre a questão da sustentabilidade, especialmente no que se refere ao seu impacto ambiental. Assim, e para assegurar que as mudanças a promover e implementar no sector energético eram as adequadas e não favoreciam condutas menos sustentáveis, para além dos documentos anteriormente referidos, foram criados regimes de certificação concebidos ou modificados para cumprir as metas e critérios explicitados nas directivas normativas reguladoras da bioenergia, basicamente a Directiva RED (2009/28/CE), que controlam e certificam a sustentabilidade do biocombustível. Um destes esquemas de certificação de sustentabilidade é a Metodologia do *International Sustainability and Carbon Certification* (ISCC) que estabelece a metodologia de cálculo das emissões de gases com efeito de estufa na produção do biodiesel.

A pertinência deste estudo decorre não só da actualidade e importância da temática mas também da necessidade e motivação das entidades produtoras de biocombustíveis evidenciarem a sustentabilidade da sua produção, recorrendo ao cálculo das emissões de gases com efeito de estufa a ela inerentes e sua comparação com as emissões do combustível fóssil de referência.

A presente dissertação “Estudo das Emissões de Gases com Efeito de Estufa dos Ciclos de Vida do Biodiesel de Soja e Colza Produzidos na Sovena Oilseeds” visa estudar as emissões de gases

com efeito de estufa decorrentes da produção de biodiesel de soja e colza na Sovena Oilseeds e avaliar a sustentabilidade dessa produção. Esta investigação surge como trabalho final de um estágio com a duração de seis meses realizado na empresa Sovena Oilseeds Portugal S.A., que tem uma linha de produção de biodiesel a partir de sementes oleaginosas.

A metodologia de cálculo das emissões de gases com efeito de estufa do biodiesel de soja e colza e a redução das emissões relativamente ao combustível fóssil de referência foi feita de acordo com a metodologia do sistema ISCC, sistema esse que certifica a fábrica da Sovena Oilseeds Portugal no que toca à sustentabilidade de toda a cadeia de produção dos seus biocombustíveis.

Definiram-se como objectivos:

- Quantificar as emissões de gases com efeito de estufa ao longo dos ciclos de vida do biodiesel de soja e colza produzido na Sovena Oilseeds Portugal, S.A. nos anos de 2013 e 2014;
- Avaliar a sustentabilidade do biodiesel de soja e colza produzido na Sovena Oilseeds Portugal, S.A. nos anos de 2013 e 2014;
- Criar uma plataforma digital (folha de cálculo) para o cálculo das emissões de gases com efeito de estufa ao longo dos ciclos de vida do biodiesel de soja e colza de acordo com a Directiva RED (2009/28/CE) e segundo a metodologia ISCC para uso futuro por parte do Grupo Sovena Oilseeds Portugal, S.A.;
- Contribuir para aumentar a eficiência na redução de gases com efeito de estufa da Sovena, na produção de biodiesel de soja e colza no que toca a padrões de sustentabilidade definidos legalmente.

A presente dissertação está organizada em 12 capítulos cujos conteúdos se sumarizam seguidamente.

No presente capítulo faz-se a contextualização do estudo evidenciando a pertinência do tema e apresentam-se os objectivos definidos.

No segundo capítulo abordam-se as temáticas das Emissões de Gases com Efeito de Estufa e do Aquecimento Global.

No terceiro capítulo explana-se sobre Sustentabilidade Energética, focam-se aspectos relativos aos consumos de combustíveis fósseis e de energias renováveis e numa secção autónoma a situação energética em Portugal.

No quarto capítulo define-se Biocombustíveis e aborda-se de modo mais pormenorizado o Biodiesel.

No quinto capítulo apresenta-se o Enquadramento Legal, nacional e internacional, inerente à produção de energias renováveis com critérios de sustentabilidade.

No sexto capítulo apresentam-se as Metodologias de Certificação de Sustentabilidade validadas na União Europeia, explicitando e analisando em pormenor a Metodologia de ISCC adoptada no estudo desta dissertação.

No sétimo capítulo apresenta-se e caracteriza-se o Grupo Sovena Oilseeds, onde se desenvolveu o estudo desta dissertação.

No oitavo capítulo apresenta-se o Processo de Produção do Biodiesel de soja e colza na Sovena Oilseeds, especificamente as etapas de extracção, de pré-tratamento e de transesterificação.

No nono capítulo aborda-se a metodologia de Análise de Ciclo de Vida com especial foco no modelo de ciclo de vida do biodiesel de soja e colza produzido na Sovena Oilseeds.

No décimo capítulo explicita-se em pormenor a Metodologia de Cálculo utilizada neste estudo já considerando a situação específica da Sovena Oilseeds.

No décimo primeiro capítulo procede-se ao Tratamento dos Dados, expõem-se os Resultados e faz-se a Discussão dos mesmos.

No décimo segundo capítulo apresentam-se as Conclusões do estudo e sugestões de investigações futuras.

A estrutura da presente dissertação foi feita segundo as normas de apresentação e formatação de dissertações da FCT e nas situações omissas segundo a obra *Saber Escrever Uma Tese e Outros Textos* (Estrela, Soares, & Leitão, 2013).

Por último explicita-se que na presente dissertação a referenciação bibliográfica foi com recurso à plataforma Mendeley segundo as normas da American Psychological Association, 6th edition.

2 – Emissão de Gases com Efeito de Estufa e Aquecimento Global

A temperatura da terra assenta num sistema dinâmico de trocas de energia envolvendo entradas e saídas, estando estes processos de troca associados a factores naturais e humanos múltiplos. Alterações neste equilíbrio condicionam variação da temperatura terrestre e da atmosfera, quase sempre elevação, com repercussões climáticas. O aquecimento global poderá ser definido como o aumento potencial na temperatura média global resultante do aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, pelo que o aquecimento global e a acumulação de gases com efeito de estufa estão sempre correlacionados, embora outros factores também interfiram significativamente neste balanço de influência.

A energia solar é absorvida pela superfície terrestre sob a forma de calor (70%) mas parte dela é novamente reflectida para a atmosfera (30%), não contribuindo tanto para o aquecimento terrestre (National Research Council, 2010).

Os GEE, como o vapor de água, o dióxido de carbono e o metano entre outros, permitem a passagem da radiação solar mas simultaneamente diminuem a libertação da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra absorvendo calor. Isto contribui para que formem uma barreira que exerce um efeito de “escudo” dificultando a perda de calor para a estratosfera e aumentando a temperatura na Terra. Este fenómeno é conhecido por “efeito de estufa”. Se, por um lado o aquecimento global está relacionado com as emissões de GEE, simultaneamente, o próprio aquecimento terrestre tem influência nas concentrações de GEE. Assim verifica-se um *feedback* positivo entre estas alterações, ou seja uma potencia a outra (National Research Council, 2010). Efectivamente os estudos evidenciam que períodos de temperatura terrestre mais elevada correspondem a períodos de concentrações de CO₂ também elevadas, sendo o CO₂ um dos gases mais ligados ao efeito de estufa (National Research Council, 2010; Solomon et al., 2007).

Segundo a *United States Geological Survey* (USGS), as alterações climáticas e o aquecimento da Terra estão mais associados à actividade antropogénica do que a factores naturais, tendo a primeira uma representatividade aproximadamente 135 vezes superior aos segundos. A análise das variáveis climáticas deixa perceber que esta situação se fez sentir com maior importância a partir da Revolução Industrial (1750), verificando-se um aumento de aproximadamente 40% nas emissões de CO₂ (National Research Council, 2010). Actualmente estima-se que as emissões de CO₂ decorrentes da actividade humana no mundo sejam cerca de 35 mil milhões de toneladas por ano e na UE 4 mil milhões de toneladas anuais (Figura 1) (British Petroleum, 2014; National Research Council, 2010).

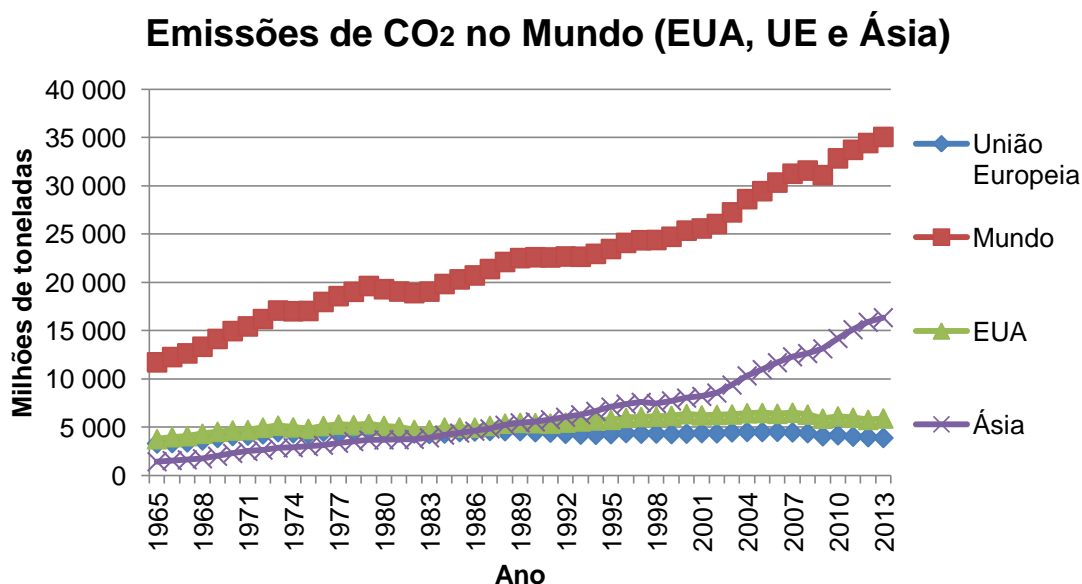


Figura 1. Evolução das emissões de CO₂ (British Petroleum, 2014).

Na Figura 2 apresentam-se as emissões de CO₂ em Portugal que em 2013 foram de 52,3 milhões de toneladas, valor que já traduz uma diminuição das emissões, iniciada em 2005, efeito das medidas de promoção à produção e consumo de energias provenientes de fontes renováveis implementadas.

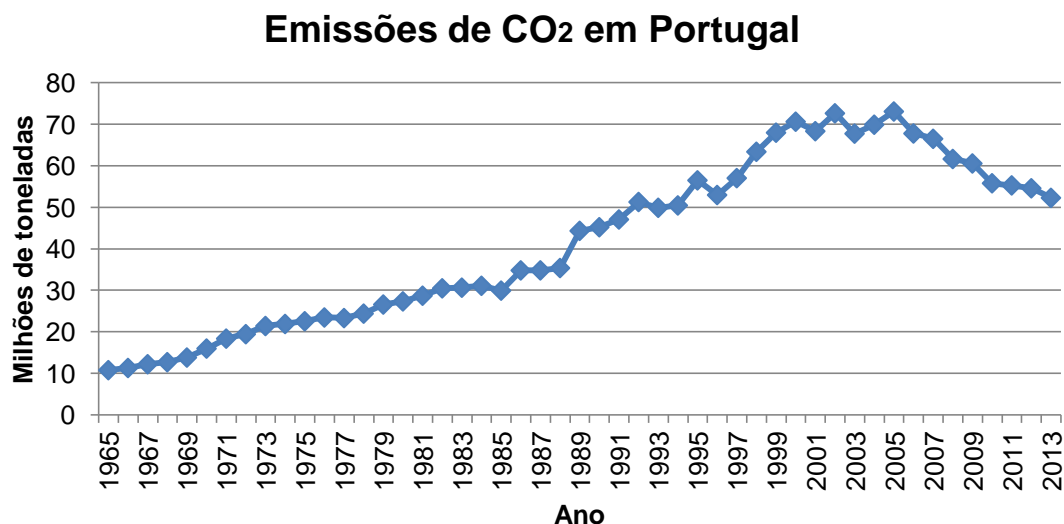


Figura 2. Evolução das emissões de CO₂ em Portugal (British Petroleum, 2014).

2.1 - Principais Gases com Efeito de Estufa

Os principais gases com efeito de estufa resultantes directamente da actividade do Homem são o dióxido de carbono, o metano, o óxido nitroso e o vapor de água, mais pelas suas maiores concentrações na atmosfera do que pelo seu potencial de aquecimento global (GWP)¹.

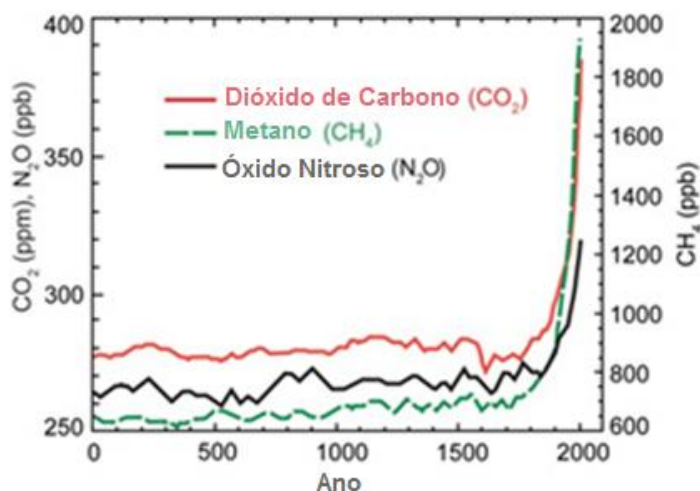


Figura 3. Evolução das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O. Fonte: (Karl, Melillo, & Peterson, 2009)

O Figura 3 mostra o aumento das concentrações dos principais GEE na atmosfera ao longo dos últimos 2.000 anos, reportando-se ao número de moléculas do gás com efeito de estufa por milhões ou biliões de moléculas de ar. Constatase que o grande incremento das emissões coincidiu com o início da Revolução Industrial (1750) e a criação da sociedade de consumo (Karl et al., 2009).

Mas também existem outros gases, compostos ou factores que, apesar de existirem em muito menores concentrações na Terra ou atmosfera, apresentam GWP maior e potenciam o efeito de estufa, frequentemente com grandes e prolongados impactos no aquecimento global, nas alterações climáticas e nos ecossistemas.

Seguidamente analisa-se cada um no que respeita às suas principais fontes e efeitos.

¹ GWP (*Global Warming Potential*): Potencial de Aquecimento é uma medida relativa que compara o gás com efeito de estufa com a mesma quantidade de CO₂, cujo potencial é definido como 1, num intervalo de tempo definido, normalmente 100 anos, e que expressa o que um gás com efeito de estufa contribui para o aquecimento global. (IPPC-*Global Warming Potentials and Patterns of Forcing*)

- Dióxido de Carbono - CO₂

O dióxido de carbono é actualmente o principal gás associado ao efeito de estufa dada a sua elevada concentração na atmosfera e a sua concentração na atmosfera cresceu cerca de 30% desde o início da era industrial. Provém essencialmente da combustão dos combustíveis fósseis, de actividades industriais como a produção de cimento, da desflorestação e das mudanças do coberto e uso dos solos. Também pode provir de processos naturais, como por exemplo as erupções vulcânicas e as trocas oceano-atmosfera e também da respiração de animais e plantas.

- Metano - CH₄

Tal como a CO₂ o metano também provém de fontes antropogénicas como decomposição anaeróbia dos resíduos nos aterros sanitários, digestão entérica animal, decomposição de excreção animal, de actividades agrícolas como por exemplo o cultivo de arroz alagado, produção de petróleo, produção e distribuição de gás natural, produção de carvão e queima de biomassa (madeira e lixo), e de fontes naturais como as emissões que ocorrem em zonas húmidas. A concentração actual de CH₄ é aproximadamente duas vezes e meia a existente antes da Revolução Industrial, embora se tenha verificado uma redução nas últimas décadas (National Research Council, 2010).

- Óxido Nitroso – NO₂

Tal como os dois gases referidos anteriormente também provém da actividade humana e naturais, essencialmente da actividade agrícola intensiva, relacionada com o uso de fertilizantes orgânicos e químicos, de processos naturais (Akos & Gutknecht, 1997). A combustão dos combustíveis fósseis continua a ser uma das suas grandes fontes de emissão assim como a queima de biomassa. A sua concentração aumentou cerca de 18% desde a Revolução Industrial, e contrariamente ao metano, as suas emissões têm aumentado desde o final do século XX (Solomon et al., 2007). Existe na atmosfera em menor concentração que os dois gases anteriores mas tem um forte “poder” de efeito de estufa (GWP).

- Vapor de Água – H₂O

É um gás muito abundante e com grande contributo para o efeito de estufa mas com uma vida atmosférica curta. Também está associado à formação de nuvens que exercem um efeito protector das radiações solares. A sua formação depende essencialmente da temperatura, que controla as taxas globais de evaporação e de precipitação, embora também esteja associado à actividade humana mas em pequena escala (National Research Council, 2010).

- Ozono Troposférico – O₃

Pode provir da reacção química entre os óxidos azotados e compostos orgânicos voláteis provenientes da combustão dos combustíveis fósseis, centrais eléctricas e outras fontes industriais

na presença de luz solar. Além de reter o calor o ozono é poluente e causa problemas de saúde pública do foro respiratório, danos nas colheitas e ecossistemas (National Research Council, 2010).

- Clorofluorcarbonos (CFC e HCFC), Hidrofluorcarbonos (HFCs), Perfluorcarbonos (PFCs), e Hexafluoreto de Enxofre (SF₆)

São gases usados em refrigerantes, espumantes, extintores de incêndio, solventes, pesticidas e propulsores de aerossóis e que, contrariamente ao vapor de água e ao ozono, têm uma vida atmosférica muito longa, afectando o clima durante décadas ou séculos (National Research Council, 2010).

- Carbono Negro

Apresenta-se no estado sólido sob a forma de fuligem ou em aerossol, e provém essencialmente da combustão incompleta de combustíveis fósseis ou madeira. Contribui para o efeito de estufa essencialmente em altitudes acima dos 2000 metros e escurece a superfície dos oceanos, da neve e do gelo, por absorver a radiação solar, acelerando a evaporação da água e a fusão da neve e do gelo (National Research Council, 2010).

- Aerossóis

Os aerossóis são compostos formados por pequenas partículas sólidas ou líquidas que podem interferir no processo de formação e dissipação das nuvens, na reflexão da luz nas mesmas e na precipitação. Salienta-se que as nuvens contribuem tanto para o arrefecimento, reflectindo a luz solar, como para o aquecimento da superfície terrestre (efeito de estufa) (National Research Council, 2010).

- Radiação Solar

A intensidade da luz solar também apresenta flutuações relacionadas com alterações solares e da órbita da Terra mas não têm grande significado no aumento do aquecimento global (National Research Council, 2010).

Como referido anteriormente as emissões de GEE estão essencialmente associadas a actividades antropogénicas inerentes à industrialização, agricultura intensiva e aspectos decorrentes do modelo de sociedade de consumo. Neste contexto percebe-se a grande dependência dos combustíveis, e em especial dos fósseis, em que o sector dos transportes assume uma quota muito significativa nas emissões de GEE, seguido da indústria (Figura 4).

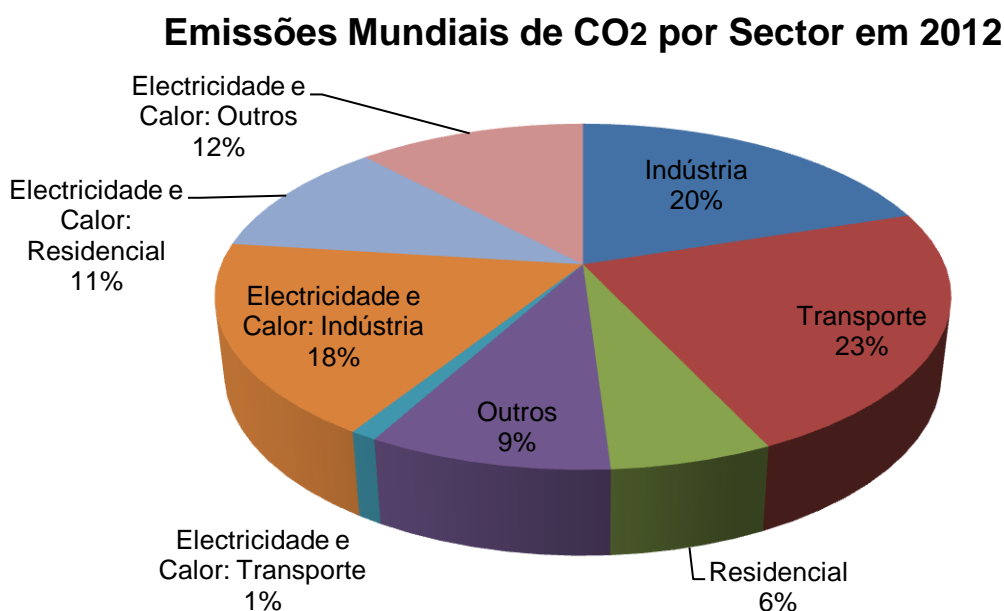


Figura 4. Emissões mundiais de CO₂ por sector (International Energy Agency, 2014).

A combustão de combustíveis fósseis, como por exemplo o petróleo, o gás natural e o carvão têm como finalidade a obtenção de energia, excepto nos casos onde essas substâncias são utilizadas como matéria-prima, ou seja, têm uma finalidade não energética. A combustão pode ser definida como uma reacção química exotérmica em que os reagentes se juntam ao oxigénio do ar, a uma determinada temperatura e pressão, resultando nos produtos da combustão após liberação de energia e calor.

O petróleo e seus derivados são formados por hidrocarbonetos, compostos formados por carbono e hidrogénio, pelo que o CO₂ será um dos produtos resultantes da combustão do petróleo ($C_7H_{16} + 11 O_2 \rightarrow 7 CO_2 + 8 H_2O + \text{Energia Térmica}$).

Se não forem controladas as tendências evolutivas das últimas décadas as alterações climáticas decorrentes das emissões de GEE terão repercussões muito significativas no meio ambiente, na economia e na sociedade (Gribbin, 1990), como por exemplo o aumento da temperatura média do planeta entre 1°C e 3,5°C, e o aumento do nível do mar e mudanças das correntes oceânicas com elevações do nível entre 15 e 95 cm até 2100, aumento da precipitação, aumento da frequência de

eventos climáticos adversos como tempestades e furacões, alterações nos recursos hídricos, erosão das áreas costeiras e alteração dos *habitats* terrestres e marinhos e dos ecossistemas animais e vegetais (United Nations, 2000).

A prevenção destas alterações climáticas terá de ser encarada como uma prioridade global embora tendo em conta particularidades específicas relacionadas com o desenvolvimento económico, tecnológico e social dos países.

A União Europeia tem procurado reduzir substancialmente as suas emissões de gases com efeito estufa ao mesmo que tem incentivado e legislado nesse sentido. Mas para que os resultados sejam efectivos esse processo de mudança tem de ser um esforço conjunto de países de diferentes partes do globo, alguns grandes emissores de GEE. Paralelamente, a Comissão Europeia e alguns Estados-Membros têm vindo a desenvolver estratégias de adaptação para fortalecer a Europa contra os impactos inevitáveis das alterações climáticas. Criar uma estratégia de combate às alterações climáticas acarreta um custo, mas não tomar qualquer acção seria muito mais dispendioso a longo prazo (Comissão Europeia, 2014).

Para evitar os impactos mais significativos das alterações climáticas, a comunidade internacional concordou que o aquecimento global deve ser mantido em valores abaixo de 2°C quando comparado com a temperatura em tempos pré-industriais. Isso significa que a temperatura da Terra não pode exceder a temperatura actual em mais do que aproximadamente 1,2°C; esta é a margem de manobra da sociedade actual para garantir um ecodesenvolvimento sustentável. Para que fique dentro deste limite, o planeta deve travar o actual crescimento das emissões globais de gases com efeito de estufa até 2020, reduzindo as emissões para pelo menos metade dos níveis registados em 1990, e até 2050, continuando a redução daí em diante (Comissão Europeia, 2014).

Neste contexto foi assumido o compromisso de transformar a Europa numa economia energeticamente eficiente e estabeleceram-se metas para reduzir progressivamente as suas emissões de gases com efeito de estufa até 2050.

Para 2020, a UE delineou a *Estratégia Europa 2020* visando um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo, comprometendo-se até 2020 a reduzir as suas emissões de gases com efeito de estufa para 20% abaixo dos níveis registados em 1990, aumentar 20% a proporção de fontes de energia renováveis no cabaz energético (*mix*) da União Europeia e alcançar a meta de 20% estabelecida para a eficiência energética. (Comissão Europeia, 2011b, 2014).

Porém, a UE ofereceu-se para aumentar a sua redução de emissões para 30% até 2020 caso outros países fortemente emissores, desenvolvidos ou em desenvolvimento, se comprometam a realizar a sua parte neste esforço global de redução de emissões. As avaliações posteriores a 2005 evidenciam que a UE poderá cumprir os dois primeiros objectivos, mas não conseguirá atingir a meta de eficiência energética sem um esforço acrescido. Contudo, continua a ser

prioritário cumprir todos os objectivos anteriormente estabelecidos para 2020 (Comissão Europeia, 2011b, 2014).

Com o objectivo de evitar que o aumento de temperatura por efeito das alterações climáticas exceda 2°C, os líderes da UE aprovaram em Fevereiro de 2011 o objectivo para 2050, de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa na Europa em 80-95% comparativamente aos níveis de 1990, como parte dos esforços dos países desenvolvidos para reduzir as suas emissões de forma colectiva e em igual escala, segundo o quadro das reduções estipuladas pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Alguns Estados-Membros já tomaram medidas nesse sentido, nomeadamente estabelecendo objectivos de redução das emissões para 2050, ou estão prestes a fazê-lo. Para conseguir construir esta economia hipocarbónica competitiva, a Comissão efectuou uma ampla análise com base em vários cenários, a fim de mostrar como pode conseguir-se essa redução. A análise dos diversos cenários revelou que a trajectória economicamente vantajosa seria reduzir as emissões internas cerca de 40% até 2030, e cerca de 60% até 2040, comparativamente aos níveis de emissões registados em 1990 e apontando uma redução de 25% em 2020 (Comissão Europeia, 2011b, 2014).

Na Figura 5 encontram-se ilustrados esses elementos, mostrando a trajectória a percorrer, em etapas de 5 anos, até à redução de 80% em 2050. A recta a vermelho, na parte superior da figura, ilustra a evolução das emissões internas de gases com efeito de estufa se as políticas actuais se mantiverem. Com base num cenário compatível com uma redução interna de 80%, mostra-se também como podem evoluir as emissões globais e por sector se forem adoptadas políticas complementares, atentas às possibilidades tecnológicas em cada momento.

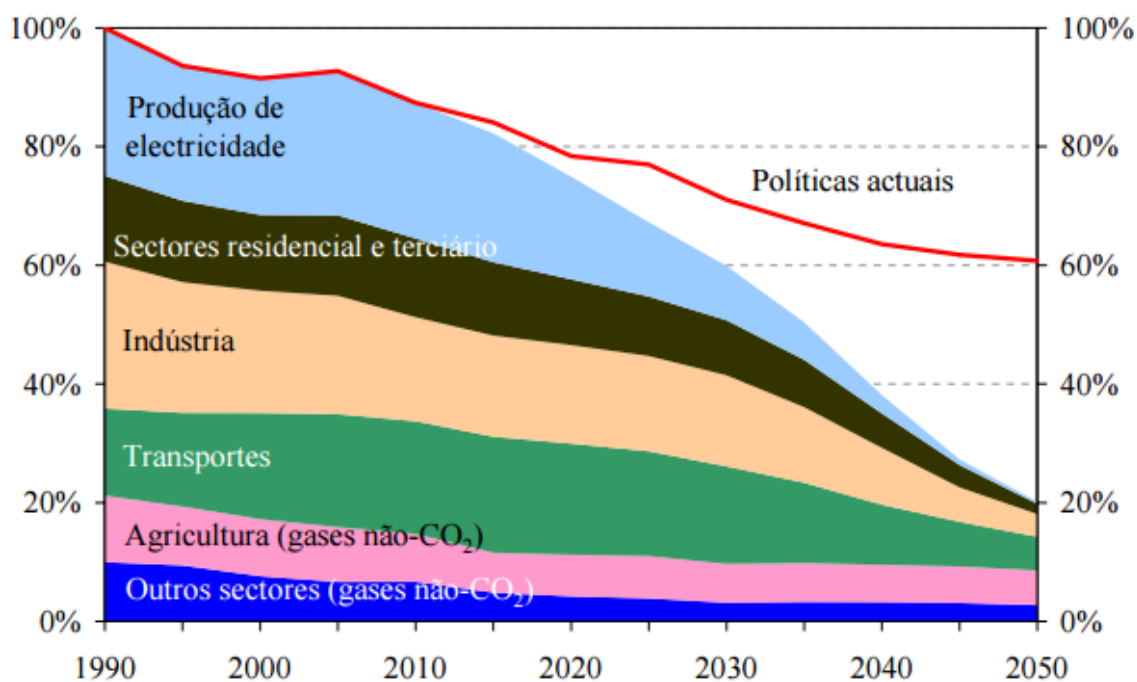


Figura 5. Redução de 80% das emissões de GEE na União Europeia em 2050 discriminada por sectores (100%=1990). Fonte:(Comissão Europeia, 2011b).

Analisando a Figura 5 e a trajectória assumida, as **reduções anuais** teriam de ser comparativamente a 1990, de cerca de 1% na primeira década 2010 a 2020, de 1,5% de 2020 a 2030, e de 2% de 2030 a 2050.

Num quadro de plena aplicação das políticas actuais, a União Europeia está no bom caminho para conseguir reduzir as emissões internas 20% até 2020 e 30% até 2030, comparativamente aos níveis de 1990. Mas no que se refere à meta de eficiência energética a atingir em 2020, e tendo em conta as políticas actuais, apenas metade da meta será atingida.

A investigação, desenvolvimento e difusão rápida de determinadas tecnologias, como as tecnologias de aproveitamento de fontes de energia hipocarbónicas e de captação e retenção de carbono, as redes inteligentes e os veículos híbridos e eléctricos, juntamente com o aumento da eficiência na utilização dos recursos – por exemplo através da reciclagem de resíduos, melhor gestão dos resíduos e alterações comportamentais – poderão contribuir para o cumprimento desta meta. Será também necessário um esforço contínuo de fomento da investigação no domínio das tecnologias de atenuação das alterações climáticas e de adaptação a essas alterações.

Na sua análise, a CE também explorou trajectórias para os sectores mais importantes, tendo sido examinados vários cenários baseados em diversas taxas de inovação tecnológica e diversos preços dos combustíveis fósseis. Os resultados obtidos mostraram grande convergência no que respeita às reduções necessárias em cada sector em 2030 e 2050, como ilustram os intervalos indicados na Tabela 1:

Tabela 1. Reduções de GEE Observadas em 2005 e Previstas para 2030 e 2050 Descriminadas por Sector (Comissão Europeia, 2011b).

| Redução das emissões de gases com efeito de estufa, comparativamente a 1990 | 2005 | 2030 | 2050 |
|--|-------------|-------------|-------------|
| Total | -7% | -40% a -44% | -79% a -82% |
| Sectores | | | |
| Produção de electricidade (CO₂) | -7% | -54% a -68% | -93% a -99% |
| Indústria (CO₂) | -20% | -34% a -40% | -83% a -87% |
| Transportes (aviação incluída, transporte marítimo excluído) (CO₂) | +30% | +20% a -9% | -54% a -67% |
| Sectores residencial e terciário (CO₂) | -12% | -37% a -53% | -88% a -91% |
| Agricultura (gases não-CO₂) | -20% | -36% a -37% | -42% a -49% |
| Outros sectores (gases não-CO₂) | -30% | -72% a -73% | -70% a -78% |

Existem várias formas de reduzir a emissão de gases com efeito de estufa e são várias as iniciativas europeias. Nomeadamente (Comissão Europeia, 2014):

- O Sistema de Comércio de Emissões da UE, que se tornou uma ferramenta fundamental da UE para reduzir as emissões da melhor forma em termos de custo-eficiência;
- A adopção de legislação para aumentar o consumo de energia produzida a partir de fontes renováveis, como a eólica, solar e biomassa, para possibilitar cumprir a meta de 20% até 2020;
- Definir uma meta para aumentar a eficiência energética da Europa em 20% até 2020, melhorando a eficiência energética dos edifícios e de uma grande variedade de equipamentos e eletrodomésticos;
- Objectivos vinculativos de redução de emissões de CO₂ em novos carros;
- Apoiar o desenvolvimento de tecnologias para capturar e armazenar CO₂ emitido por diversas instalações industriais.

3 – Sustentabilidade Energética

Nos últimos séculos, o uso de combustíveis fósseis como o uso de carvão e petróleo, iniciados nos séculos XVIII e XX respectivamente, especialmente na área da indústria, alavancaram a economia e a qualidade de vida nos países industrializados que recorriam a combustíveis fósseis de uma forma generalizada. A sociedade actual ainda continua muito dependente dos combustíveis fósseis, em especial do petróleo (Tabela 2). Em 2013 estimou-se que cerca de 87% da energia consumida no mundo proveio da utilização de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão) tendo o petróleo contribuído em aproximadamente 33% do consumo total (British Petroleum, 2014). Este consumo de energia primária tem vindo a crescer mundialmente nas últimas décadas devido a economias emergentes como a Índia e a China.

Tabela 2. Consumo Mundial de Energias Primárias em Mtep² registadas em 2013 (British Petroleum, 2014).

| <i>Petróleo</i> | <i>Gás Natural</i> | <i>Carvão</i> | <i>Energia Nuclear</i> | <i>Energia Hidroelétrica</i> | <i>Energias Renováveis</i> | <i>Total</i> |
|------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| 4185,1 | 3020,4 | 3826,7 | 563,2 | 855,8 | 279,3 | 12730,5 |

É importante referir que é o sector de transportes o que mais depende dos combustíveis fósseis, mais precisamente do petróleo e que esta correlação já vem do passado não registando qualquer tendência em diminuir. Este sector é o que mais contribui para a emissão de gases com efeito de estufa, nomeadamente dióxido de carbono sendo primordial a substituição do petróleo por outra fonte energética. De facto, analisando a Figura 6, enquanto em 1973, 45,4% do consumo mundial de petróleo era relativo ao sector dos transportes, essa participação subiu para os 63,7% em 2012. Tal pode ser explicado pelo aumento do nível de motorização do planeta e do crescimento do comércio internacional (International Energy Agency, 2014).

² O consumo de petróleo é medido em milhões de toneladas; outros combustíveis, em milhões de toneladas equivalentes de petróleo.

Consumo Mundial de Petróleo por Sector

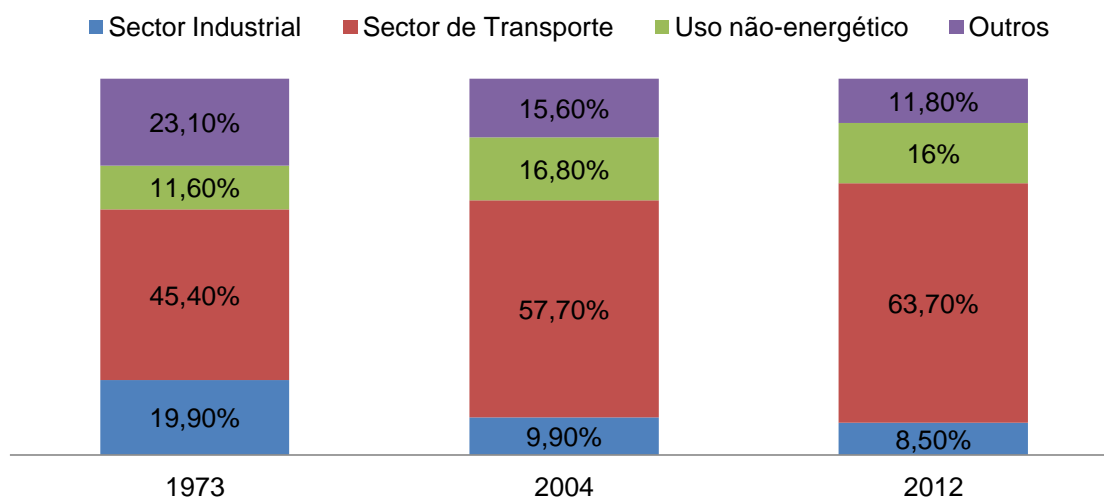


Figura 6. Distribuição do consumo mundial de petróleo por sector em 1973, 2004 e 2012 (International Energy Agency, 2014)³.

Contudo, o crescente consumo energético não pode ser apenas suportado por recurso a combustíveis fósseis, visto estes serem um recurso limitado o que acaba por tornar o seu processo de extracção cada vez mais difícil e consequentemente mais dispendioso.

À medida que as sociedades se tornam mais desenvolvidas, o consumo energético tende a aumentar, embora tal não signifique de modo eficiente. Procura-se que o aumento da competitividade dos países seja acompanhado por uma eficiência energética, traduzindo-se num menor consumo de energia por unidade de produto produzido ou serviço prestado. Este cenário regista-se actualmente nos países desenvolvidos, especialmente no sector industrial. Contudo a situação é diferente nos sectores de transporte ou habitação. O actual modelo energético deve ser revisto e adaptado de forma a aumentar a eficiência energética numa escala global e em todos os sectores devido a vários motivos, nomeadamente a eminente extinção das energias não renováveis ou de origem fóssil e aos seus impactos negativos sobre o meio ambiente no combate ao efeito de estufa. Esta sociedade energético-dependente deve procurar alternativas, não para reduzir o consumo energético mas sim para reduzir o papel que as energias fósseis têm nesta situação dado que a sua escassez não irá responder às necessidades para sempre e muito menos segundo uma perspectiva sustentável. O actual desafio da humanidade é a procura de novas tecnologias capazes de diminuir a dependência dos combustíveis fósseis, no seu estatuto de matéria-prima para produção de energia, através de uma utilização mais racional e impulsionando, ao mesmo tempo, o desenvolvimento de novas fontes de energia renováveis.

³ De referir que “uso não-energético” diz respeito à indústria petroquímica, onde o petróleo é usado para a fabricação de produtos como plásticos ou fertilizantes e “outros” refere-se a sectores como o agrícola (combustível para equipamentos agrícolas), comercial e de serviços públicos (geração de energia) e residencial (aquecimento).

No âmbito desse esforço a União Europeia traçou uma estratégia composta por um conjunto de medidas a cumprir por cada Estado-Membro no seguimento do Protocolo de Quioto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas, e promoveu a utilização de energia proveniente de fontes renováveis a nível comunitário e internacional, com o objectivo de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa, segundo a Directiva RED (2009/28/CE).

De forma a garantir a segurança no abastecimento energético, diminuindo a dependência energética fóssil e fomentando uma sustentabilidade ambiental, que passa por atingir uma meta de 10% de integração de biocombustíveis ou outros combustíveis renováveis no sector de transportes até 2020, meta estabelecida pela Comunidade Europeia. Constatou-se que é necessário mudar mentalidades e atitudes.

No actual cenário europeu, o sector dos transportes é o responsável por cerca de um terço (33,33%) do consumo final de energia e por mais de um quinto (20%) das emissões de gases com efeito de estufa em toda a UE, registando ainda uma dependência do petróleo de 96% das suas necessidades energéticas, sendo os restantes 4% das necessidades respondidas pelos biocombustíveis (Al-Kayiem, Brebbia, & Zubir, 2015). Contudo, tem-se observado um investimento nos biocombustíveis:

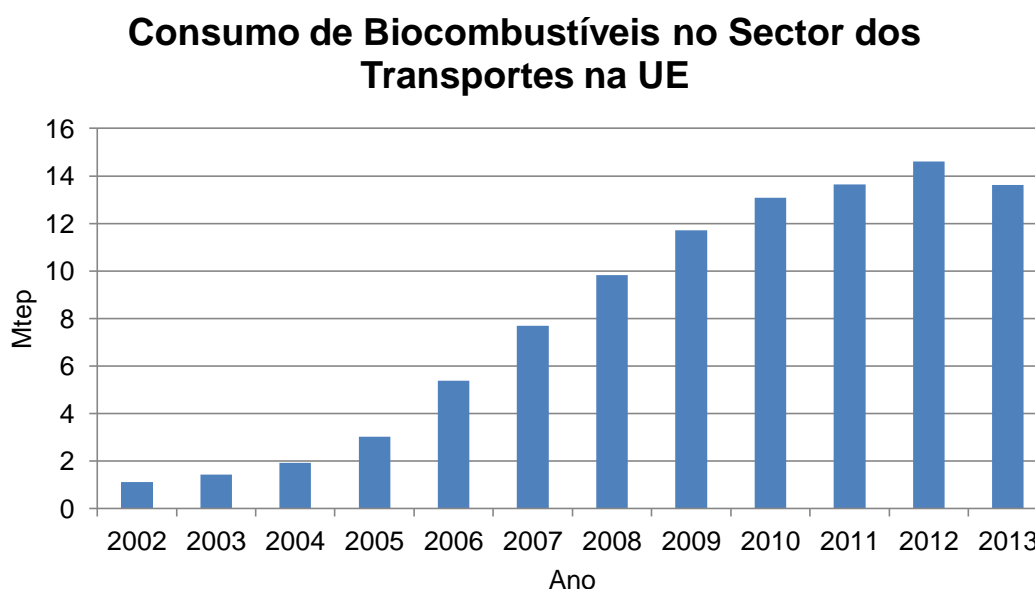


Figura 7. Evolução do consumo de biocombustíveis em Mtep no sector dos transportes na UE entre 2002 e 2013 (EuroObserv'ER, 2014a).

No seguimento das Directivas e leis redigidas, o consumo de biocombustíveis na UE tem aumentado em mais de dez vezes entre 2002 e 2013. De constatar que pela primeira vez, entre 2012 e 2013, registou-se uma queda de consumo de biocombustíveis no sector de transportes em cerca de 1 milhão de toneladas equivalentes de petróleo. Contudo, o consumo global de biocombustíveis sustentáveis e certificados, logo elegíveis para inclusão nas metas europeias

aumentou ligeiramente (0,8%) reportando um consumo de 11,8 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (EuroObserv'ER, 2014b). Esta diminuição deve-se essencialmente ao corte das metas de incorporação na Espanha e na abolição das isenções fiscais de que beneficiavam os produtores de biodiesel na Alemanha, o que se reflectiu numa diminuição na produção. Todavia outros países mostraram no ano de 2013 comportamentos opostos, como o Reino Unido⁴, Suécia⁵ e Dinamarca, em que aumentaram significativamente as suas taxas de incorporação de biocombustíveis aumentando também os seus consumos. Outros, como a França⁶, Áustria e Bélgica, mantiveram as taxas de incorporação de forma estável (EuroObserv'ER, 2014b). Concluindo, apesar da queda global no consumo na indústria de transporte, a quota total de biocombustível consumido aumentou, passando de 79,8% (em 2012) para 86,5% (em 2013) (EuroObserv'ER, 2014b).

3.1 - Situação Energética em Portugal

Segundo a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável, Portugal é um país muito dependente da importação de energia onde mais de 85% da energia primária é importada (Mota, Pinto, Sá, Marques, & Ribeiro, 2005). Porém, o país tem feito esforços de forma a reduzir esta relação registando-se uma ligeira trajetória descendente desde 2005 (Figura 8). A reversão desta situação prende-se com o aumento do uso de energias renováveis, entre elas a produção de biocombustíveis, contribuindo para a diminuição do indicador de dependência energética de Portugal (Figura 9). Contrariamente, a dependência energética da UE-27 apresentou uma trajetória ascendente (Figura 8), situando-se contudo, num nível muito inferior ao de Portugal (53,2% em 2013).

⁴ Consumo de biocombustíveis aumentou 13% no Reino Unido (EuroObserv'ER, 2014b).

⁵ Taxa de incorporação de biocombustíveis de 11% na Suécia (EuroObserv'ER, 2014b).

⁶ França procura atingir uma taxa de incorporação de 7,7% (EuroObserv'ER, 2014b).

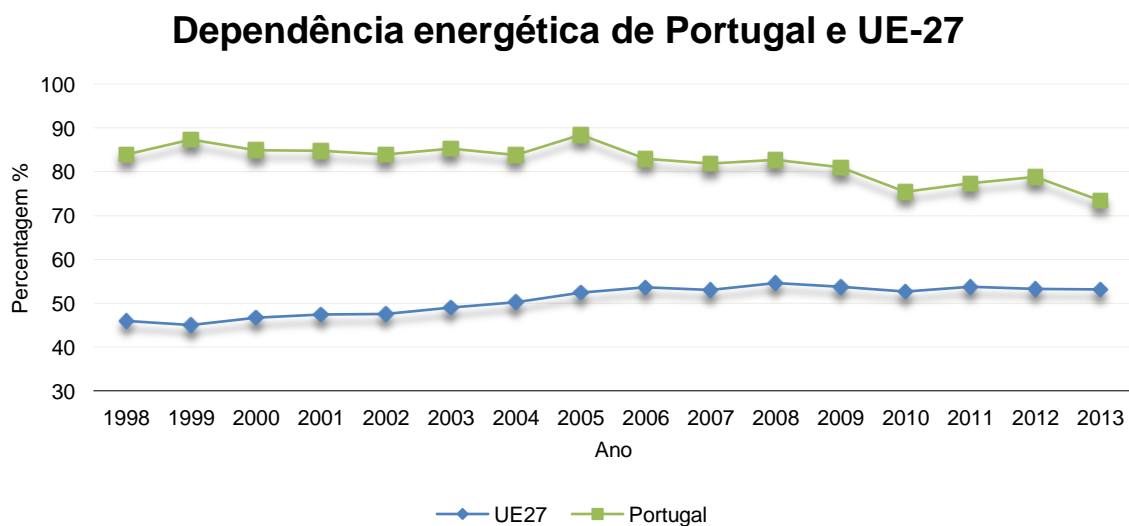


Figura 8. Comparação da dependência energética (%) entre Portugal e EU-27 de 1998 a 2013 (Eurostat, 2013).

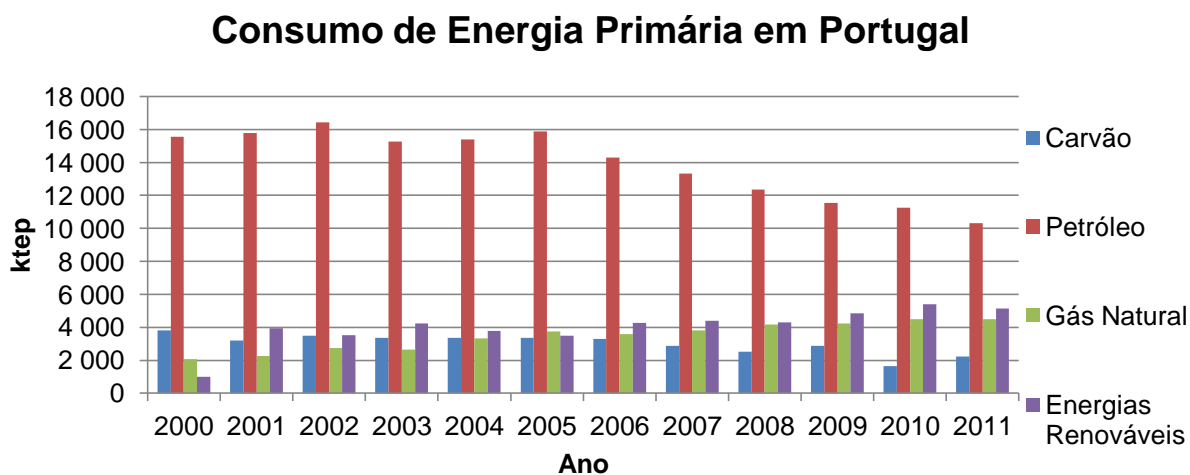


Figura 9. Evolução do consumo de energia primária em Portugal em ktep entre 2000 e 2011 (DGEG, 2015).

Este recurso a energias renováveis é tão benéfico para o país sob o ponto de vista de consumo como numa perspectiva produtiva: Portugal reúne excelentes condições para produzir energia a partir de fontes renováveis.

Contudo, não é só o perfil de consumo que tem mudado. Também o da produção de energia se tem alterado ao longo dos anos, havendo um notável aumento das fontes renováveis, entre elas a energia eólica, hídrica, biomassa e biocombustíveis (Figura 10).

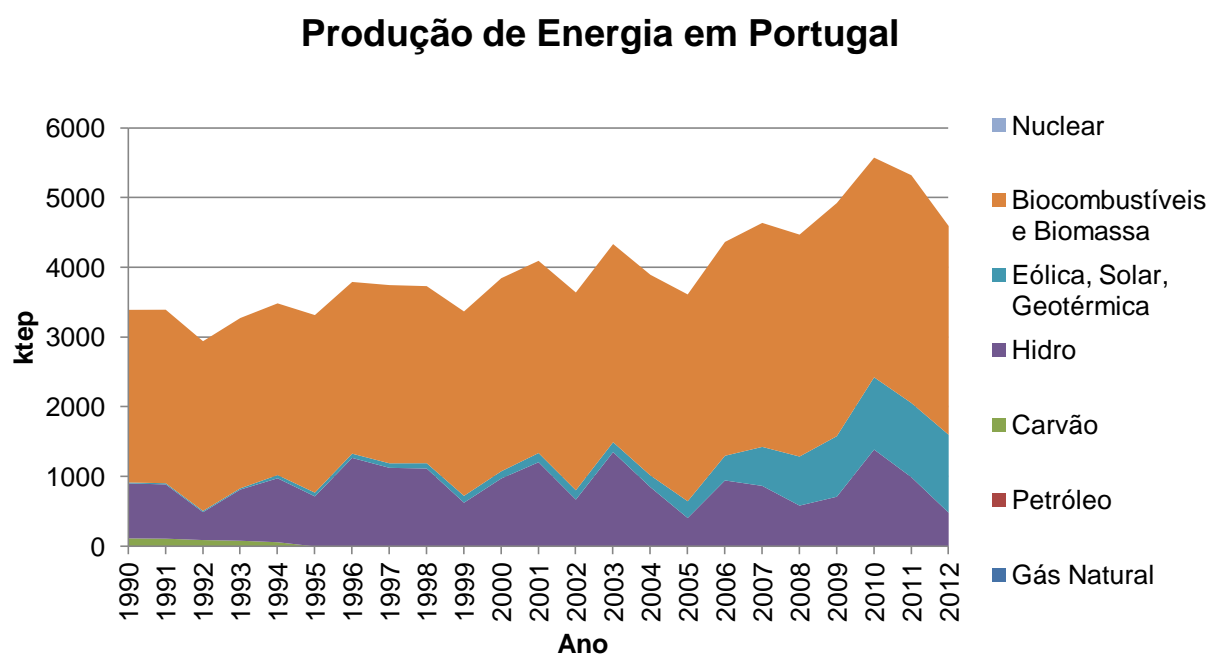


Figura 10. Evolução da produção energética em Portugal entre 1990 e 2012 (International Energy Agency, 2013).

4 – Biocombustíveis

Na sociedade actual torna-se cada vez mais premente ponderar a produção e consumo energético dos países, considerando aspectos como a garantia da sustentabilidade dos recursos energéticos, da segurança energética dos países, do controlo da poluição e dos seus efeitos na saúde, as repercussões ambientais decorrentes das emissões de GEE, responsáveis pelo efeito de estufa e com contributos na redução da camada de ozono, responsável por absorver a radiação ultravioleta emitida pelo sol e a radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre, aspectos que influenciam o aquecimento global e as alterações climáticas a ele associadas. Também os aspectos económicos determinaram novos posicionamentos neste sector, dado que a produção de energia a partir de outras fontes possibilita reduzir a dependência do petróleo e dos países que o produzem contribuindo para o desenvolvimento da economia dos países e dos cidadãos.

Esta necessidade de produzir energias a partir de fontes renováveis, e diversificadas, levou os países a legislar e incentivar o consumo e a produção de biocombustíveis, o que se tem registado tanto à escala europeia como global (Figura 11), incluindo Portugal (Figura 12).

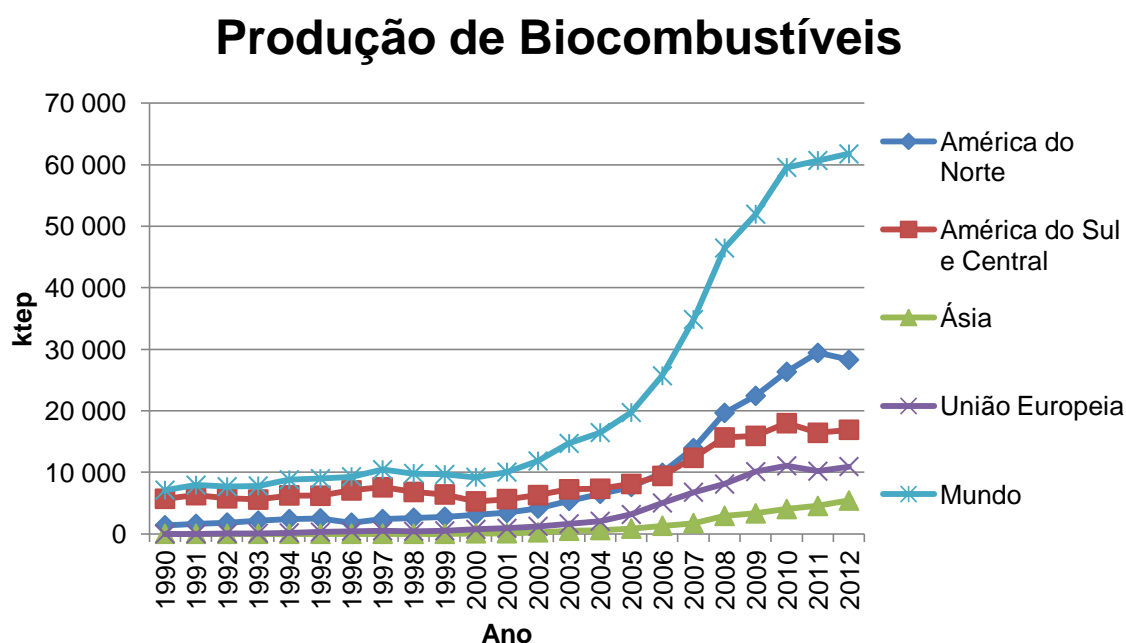


Figura 11. Evolução da produção de biocombustíveis entre 1990 e 2012 (British Petroleum, 2014).

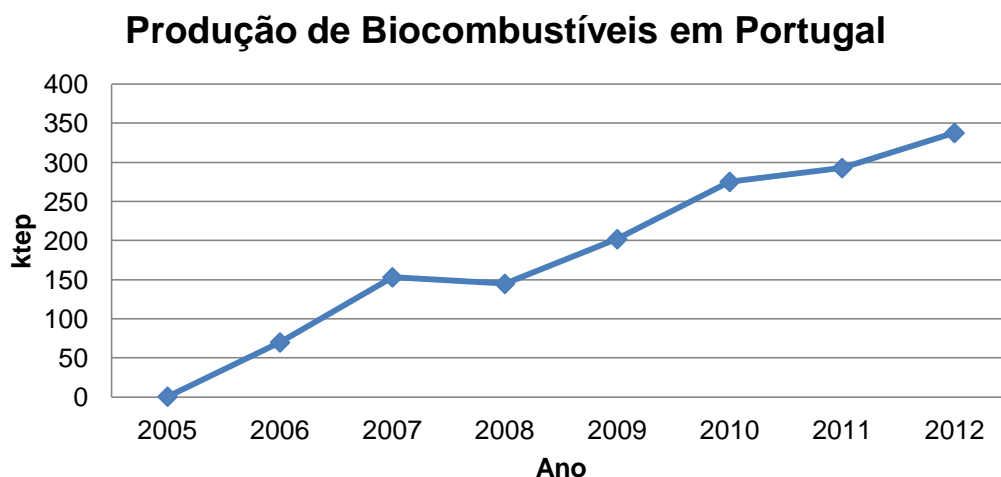


Figura 12. Evolução da produção de biocombustíveis em Portugal entre 2005 e 2012 (British Petroleum, 2014).

Um biocombustível é produzido a partir de biomassa. As fontes de biomassa para a produção de energia podem ser culturas energéticas (cana-de-açúcar, milho, soja, colza, girassol), resíduos agrícolas urbanos ou industriais (detritos, bagaços) e microorganismos (algas) (Patanita, 2010).

A biomassa é uma das mais antigas fontes de energia renovável sendo ainda muito utilizada nos dias de hoje. Cerca de 80% da oferta mundial de energias renováveis deriva da biomassa (Patanita, 2010). Através de tecnologias de conversão é possível obter biocombustíveis que podem ser utilizados na produção de trabalho mecânico ou de energia térmica (calor) e eléctrica, em dispositivos convencionais (motores de combustão interna, caldeiras) em substituição dos combustíveis fósseis tradicionais (Patanita, 2010).

Alguns exemplos de biocombustíveis são o biodiesel, bioetanol, biometanol, bio-ETBE (bioéter etil-ter-butílico), bio-MTBE (bioéter etil-ter-metílico), bioéter dimetílico, bio-hidrogénio, entre outros.

Os biocombustíveis são uma alternativa aos combustíveis fósseis essencialmente no sector automobilístico, sector que regista consumos sempre muito significativos. Este interesse em biocombustíveis na substituição dos combustíveis fósseis tem crescido nos últimos anos, principalmente porque o uso de matéria-prima vegetal tem, como princípio, a não contribuição para a emissão de GEE e a possibilidade de a longo prazo tornarem-se mais baratos comparativamente ao preço do petróleo (Baptista, 2011). O aceitar-se que os biocombustíveis têm uma contribuição nula para as emissões GEE assenta na base de que todo o dióxido de carbono (CO_2) emitido pela combustão foi previamente sequestrado no crescimento da matéria-prima, ou seja, o consumo de biocombustíveis pode ser integrado no ciclo do carbono (Chisti, 2007; Keyzer, Merbis, & Voortman, 2008).

Existem três tipos de biocombustíveis, de primeira, de segunda e terceira geração:

- Biocombustíveis de primeira geração – Categoria que inclui biodiesel e bioetanol obtidos através de culturas alimentares, ricas em hidratos de carbono solúveis (amido, açúcares), como a cana-de-açúcar e o milho, para a produção de bioetanol, ou culturas alimentares ricas em óleo vegetal, como a soja e colza, para a produção do biodiesel. Esta categoria engloba também o biogás, geralmente sob a forma de biometano, produzido quer por fermentação de resíduos ou através de culturas alimentares (EuroObserv'ER, 2014a; Patanita, 2010)
- Biocombustíveis de segunda geração – Engloba os biocombustíveis cuja energia não é obtida através de culturas alimentares, oferecendo em certos casos melhores rendimentos e menores emissões de GEE. As matérias-primas englobam culturas linho-celulósicas, resíduos agrícolas e florestais. Possibilita a produção de bioetanol e em alguns processos, biodiesel (EuroObserv'ER, 2014a).
- Biocombustíveis de terceira geração – Inclui biocombustíveis produzidos a partir de algas, com a principal vantagem de não recorrer a culturas alimentares (EuroObserv'ER, 2014a).

Todavia salienta-se que a produção de alguns biocombustíveis, apesar de produzir benefícios ambientais, económicos e de sustentabilidade, também levantam questões polémicas no que se refere aos impactos da sua produção, essencialmente quando se analisa todo o ciclo de vida da cadeia produtiva (Naik, Goud, Rout, & Dalai, 2009). Este aspecto é de primordial importância quando falamos de biocombustíveis de primeira geração, ou seja, os que são produzidos a partir de matérias-primas provenientes de culturas alimentares.

O principal problema em relação a biocombustíveis de segunda geração é que para a implementação do processo produtivo terá que se proceder a alterações tecnológicas das unidades industriais associadas à produção, não havendo uma tecnologia estabelecida em escala comercial para conversão completa de biomassa em biocombustíveis de segunda geração.

Neste contexto a produção bioetanol e de biodiesel foram as que apresentaram maior incremento na Europa, sendo o biodiesel o biocombustível mais utilizado na actualidade na Europa no sector de transportes. Em 2013, 79% do consumo total de biocombustíveis no sector de transportes foi por utilização do biodiesel (Figura 13) o que equivale segundo a Figura 7 a aproximadamente 11 Mtep (EuroObserv'ER, 2014a).

Consumo de Biocombustíveis no Sector de Transporte em 2013 na UE

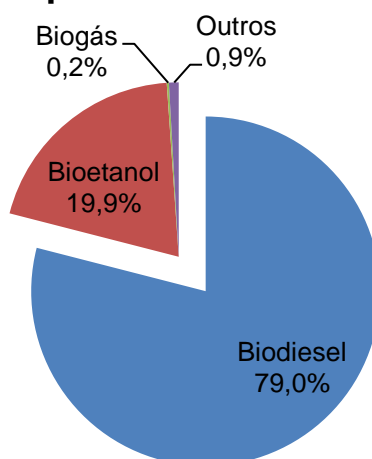


Figura 13. Distribuição do consumo europeu de biocombustíveis no sector de transporte em 2013 (EuroObserv'ER, 2014a).

Segundo a *American Society for Testing and Materials* (ASTM), o biodiesel é um “combustível composto por mono-álquil ésteres de ácidos gordos de cadeia longa, produzidos a partir de óleos vegetais ou de gorduras animais, designado como B100” (Hoekman, Broch, Robbins, Cenicerros, & Natarajan, 2012) respondendo aos requisitos específicos da norma ASTM D6751.

O biodiesel, substituto do diesel produzido a partir de combustível fóssil, é um combustível obtido a partir de uma fonte renovável, produzido a partir de uma variedade de óleos e gorduras naturais, através da reacção química entre um álcool, metanol ou etanol, e qualquer óleo ou gordura natural. O metanol é o álcool mais utilizado na produção comercial de biodiesel. Na Europa, o biodiesel encontra-se disponível, tanto na sua forma pura, 100% de biodiesel (B100) ou em misturas com diesel, e usa-se predominantemente a colza como matéria-prima para a produção de biodiesel, enquanto nos Estados Unidos se produz essencialmente biodiesel de soja.

Permite reduzir a dependência do petróleo e dos países que o produzem, contribuir para um consumo sustentável de combustíveis fósseis como o carvão, o petróleo e o gás natural, possibilita a redução das emissões de gases de efeito estufa e da poluição atmosférica, e dos riscos para a saúde pública assim como contribui para o desenvolvimento da economia dos países e dos cidadãos.

4.1 - Produção de Biocombustíveis em Portugal

A produção de biocombustíveis em Portugal iniciou-se em 2005 incentivando a criação de um conjunto de empresas nacionais produtoras de biodiesel. Em 2012, a produção total nacional foi de cerca de 300 000 toneladas, o equivalente a 48% da capacidade total instalada (Tabela 3) (Gírio, Bogel-Lukasik, Matos, Oliveira, & Silva, 2013).

Tabela 3. Capacidade Instalada e Ano de Início de Actividade de Produtores de Biodiesel em Portugal em 2012 (Gírio et al., 2013).

| Produtor de Biodiesel | Capacidade Instalada (ton/ano) | Início de Actividade |
|-----------------------|--------------------------------|----------------------|
| Iberol | 120 000 | 2006 |
| Biovegetal | 120 000 | 2007 |
| Torrejana | 109 500 | 2005 |
| Prio-Biocombustíveis | 100 000 | 2007 |
| Sovena Oilseeds | 95 000 | 2007 |
| Valouro | 50 000 | 2011 |
| Bioportdiesel | 31 536 | 2011 |
| Total | 626 036 | |

Em 2012, para além dos produtores enumerados na tabela anterior, existiam ainda no mercado quinze pequenos produtores dedicados (PPD's) de biocombustíveis substitutos de gasóleo, representando cerca de 1,5% da totalidade da produção nacional de biocombustíveis.

O biodiesel comercializado em Portugal é um éster metílico de ácidos gordos, também designado por FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*) produzido a partir de uma reacção de transesterificação entre metanol e óleos vegetais provenientes da soja, colza, girassol ou palma (Gírio et al., 2013). O processo reaccional será abordado no capítulo 8 – Processo de Produção.

Dadas as elevadas quantidades de matéria-prima necessária, tendo em conta que Portugal não apresenta tais taxas produtivas e a forte competitividade do sector agrícola português, fica impossível localizar a cadeia de valor relativa à produção de biocombustíveis inteiramente em Portugal. A produção nacional de matérias-primas para biocombustíveis tem um carácter residual sendo que 98% do total de biocombustíveis produzidos recorre à importação de colza, soja, girassol, palma, entre outros, quer sob a forma de grão quer sob a forma de óleo (Figura 14) (Gírio et al., 2013).

Óleos Vegetais Utilizados na Produção de Biodiesel em Portugal em 2012

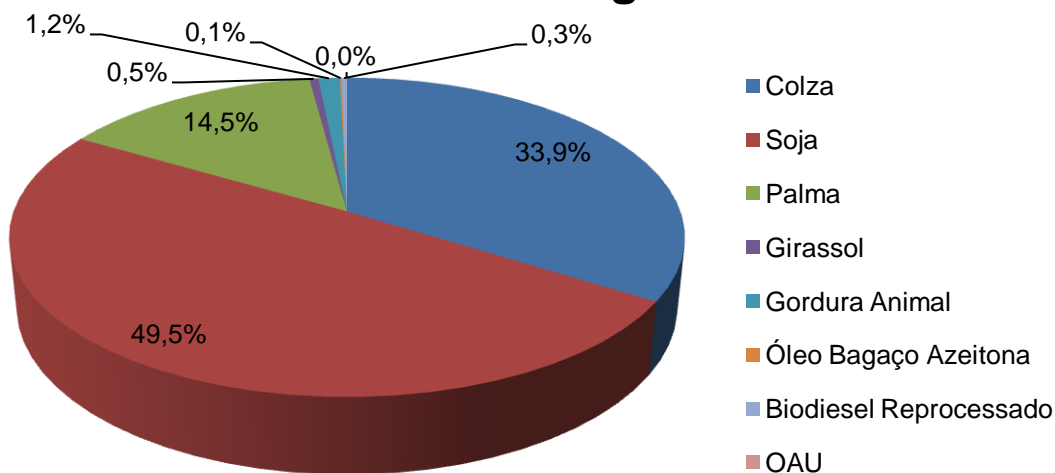


Figura 14. Óleos vegetais utilizados em 2012 para a produção de biodiesel (Gírio et al., 2013).

A Sovena Oilseeds também recorre à importação de soja e colza utilizadas para a produção de biodiesel. A origem do grão de soja utilizado na sua fábrica provém de países como Brasil, Canadá, EUA e Argentina.

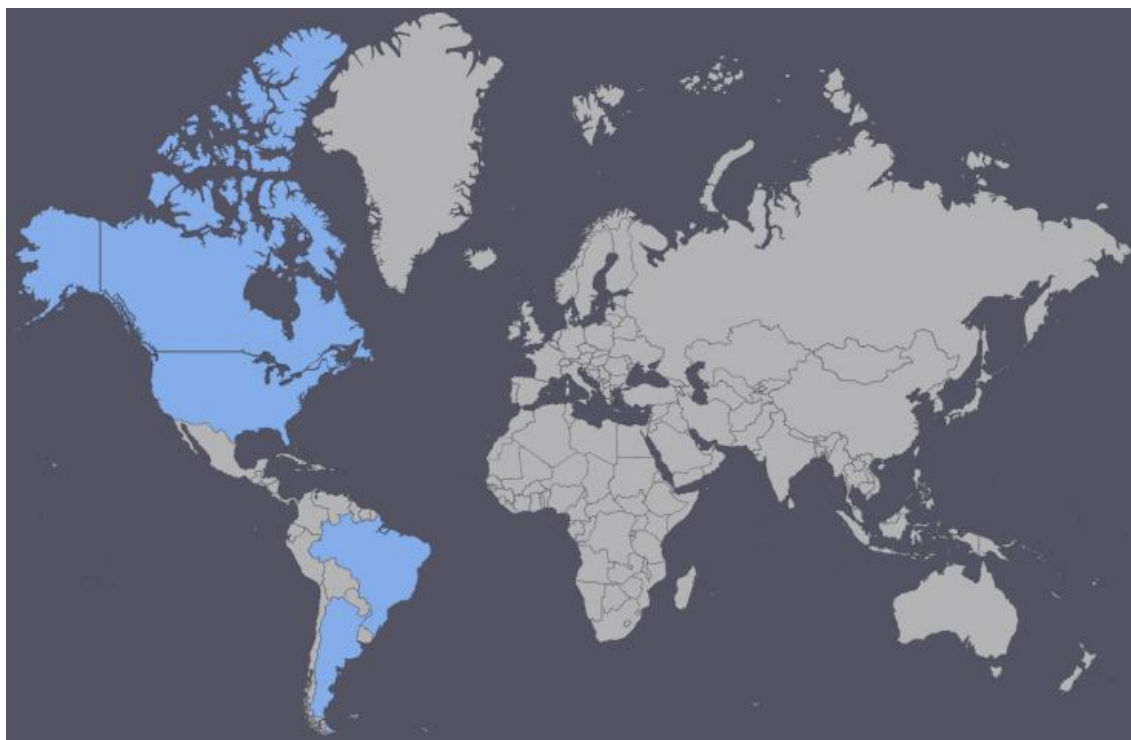


Figura 15. Mapa com os países de origem do grão de soja utilizado na produção de biodiesel na Sovena Oilseeds.⁷

⁷ Mapa construído através do site <http://www.amcharts.com/>

Já a origem da colza utilizada na fábrica em 2013 e 2014 provém de países como a Espanha, Ucrânia, Bulgária, Argentina e EUA.



Figura 16. Mapa com os países de origem da semente de colza utilizada na produção de biodiesel na Sovena Oilseeds.⁸

⁸ Mapa construído através do site <http://www.amcharts.com/>

5 – Sustentabilidade: Legislação e Directivas Europeias e Nacionais

O aumento da utilização, produção e comércio da bioenergia determinou crescentes preocupações em relação à produção de biocombustíveis e utilização de biomassa para produção de energia sustentável, dadas as múltiplas implicações associadas a esta opção de produção energética. Efectivamente, a UE tem vindo a tentar posicionar-se como um líder na luta contra as alterações climáticas, promovendo políticas que favoreçam a produção de energias renováveis e consequente redução de emissões de gases com efeito de estufa. No entanto, a expansão da bioenergia tem vindo a suscitar sérias preocupações sobre a questão da sustentabilidade, especialmente no que se refere ao impacto ambiental da bioenergia.

Assim, e para assegurar que as mudanças a promover e implementar no sector energético eram as adequadas e não favoreciam condutas menos sustentáveis, os países e organizações internacionais foram chamados a desenvolver e implementar legislação que normalizasse todo o processo de mudança, inclusive definindo critérios a cumprir e metas a atingir em intervalos de tempo definidos. Neste enquadramento surgiram documentos legais como o Protocolo de Montreal (1987), sobre as Substâncias que Empobrecem a Camada de Ozono, o Protocolo de Quioto à Convenção Quadro das Nações Unidas relativo às Mudanças Climáticas (1997), as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE, estas duas últimas revogadas pela Directiva RED (2009/28/CE), que passou a ser o documento normativo basilar da sustentabilidade energética. Em Portugal foi publicado o Decreto-Lei nº 117/2010 que corporiza para Portugal o previsto na RED.

5.1 – Protocolo de Quioto à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas de 1992

Neste documento estabelecem-se as linhas orientadoras para as “Conferência das Partes da Convenção, actuando na qualidade de reunião das Partes” para promover o desenvolvimento sustentável com cumprimento das metas de limitação e redução das emissões de gases com efeito de estufa (ONU, 1997).

As Partes aceitavam o comprometimento para (ONU, 1997):

- Melhorar a eficiência energética em sectores relevantes da economia;
- Proteger e melhorar escoadouros e reservatórios de GEE, não regulamentados no Protocolo de Montreal, e promover práticas sustentáveis de gestão da floresta, florestação e reflorestação;
- Promover formas sustentáveis de agricultura;

- Investigar, promover e desenvolver formas de energias renováveis e tecnologias de absorção de carbono;
- Reduzir ou eliminar distorções de mercado que possam estar relacionadas com sistemas de incentivos e isenções fiscais instituídos para promover as emissões de GEE e a produção e consumo de energias renováveis;
- Iniciar processos de reforma do sector energético assente em medidas que limitassem e reduzissem as emissões de GEE com especial importâncias no sector dos transportes, gestão de resíduos e distribuição de energia.

No Protocolo de Quioto as Partes comprometiam-se a estabelecer/quantificar os seus níveis de stoks de carbono reportados a 1990 e a fazer uma estimativa das alterações dos mesmos em anos subsequentes. Para além do exposto as Partes comprometiam-se pelo presente protocolo a reduzir as suas emissões em pelo menos 5% relativamente aos níveis que haviam reportado a 1990 no período de 2008 a 2012.

Aceitava-se que as emissões decorrentes dos transportes aéreo e marítimo internacionais não seriam regulamentadas ao abrigo do Protocolo Quioto, sendo feita a gestão e promoção da sua redução respectivamente pela Organização de Aviação Civil Internacional e a Organização Marítima Internacional (ONU, 1997).

No Protocolo de Quioto também se estipulava que a certificação da redução das emissões de GEE seria feita por entidades operacionais a designar pela Conferência das Partes, com base na participação voluntária das mesmas, evidenciando redução efectiva das emissões, consequentemente maiores do que as emissões que ocorreriam se não se aplicasse qualquer programa de gestão de sustentabilidade, e evidenciando benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo (ONU, 1997).

O Protocolo de Quioto versava sobre os gases com efeito de estufa dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonetos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆).

Reportava-se aos sectores da Energia, Processos Industriais, Uso de Solventes, Agricultura e Resíduos. No âmbito da energia referia-se à combustão de combustível (indústria de energia, transportadoras de construção, transportes, e outros); emissões fugitivas de combustíveis (combustíveis sólidos, petróleo e gás natural entre outros). No âmbito dos processos industriais englobava os referentes a produtos minerais, indústria química, produção animal, produção de metais e produção e consumo de halocarbonetos e de hexafluoreto de enxofre. No âmbito da agricultura referia-se a processos de fermentação alcoólica, gestão de estrume, cultivo de arroz, gestão de solos agrícolas, queimadas intencionais de savanas e de resíduos agrícolas. No âmbito dos resíduos reportava-se à deposição de resíduos sólidos no solo, manuseamento de águas residuais e inceneração de resíduos (ONU, 1997).

O incentivo aos biocombustíveis surge na União Europeia no início do séc. XXI, através da Directiva dos Biocombustíveis (2003/30/CE) do Parlamento Europeu e do Conselho, de 8 de Maio de 2003, relativamente à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes, por forma a cumprir os compromissos assumidos, por parte dos Estados-Membros, relativos às alterações climáticas, à segurança do abastecimento de forma a não prejudicar o ambiente e à promoção das fontes de energia renováveis (Parlamento Europeu, 2003).

Contudo, a problemática da gestão dos recursos energéticos, já era uma questão discutida durante a Segunda Guerra Mundial, numa altura em que o carvão se apresentava como principal fonte de energia. Na França, por exemplo, a utilização de biocombustíveis precedeu a política europeia de biocombustíveis. Alguns autores mencionam a utilização de biocombustíveis misturados com gasolina em autocarros parisienses no período que antecede a Primeira Guerra Mundial e referem a existência de uma obrigação de incorporação de etanol na gasolina que condicionava a importação de petróleo bruto (Nobre, 2014).

A Directiva dos Biocombustíveis de 2003 determinou que os Estados-Membros colocassem no mercado uma proporção mínima de biocombustíveis, apesar de cada Estado-Membro manter a liberdade de estabelecer as metas nacionais. Os valores de referência que o documento europeu definia eram, numa primeira fase, 2% de toda a gasolina e de todo o gasóleo colocado no mercado para utilização no sector dos transportes até 31 de Dezembro de 2005, e posteriormente 5,75% até 31 de Dezembro de 2010. Apesar de as metas não terem carácter obrigatório, existia uma obrigação moral de os Estados-Membros atingirem os níveis de utilização de biocombustíveis a que se haviam proposto, pelo que os Estados-Membros tinham o dever de informar a Comissão sobre as medidas adoptadas para as alcançar (Parlamento Europeu, 2003).

As medidas de promoção adoptadas pelos Estados-Membros não foram, contudo, suficientes para atingir as ambiciosas metas fixadas pela União Europeia através do recurso a matérias-primas endógenas, forçando-os a recorrer a importações de outras regiões do globo com o objectivo de atingirem os níveis de utilização de biocombustíveis a que se haviam proposto. Este recurso à produção externa levou à globalização deste sector, criando um mercado internacional de biocombustíveis. A globalização acarretou, todavia, uma globalização dos próprios riscos que lhe são inerentes afectando principalmente os países menos desenvolvidos. A política europeia de biocombustíveis começou a ser alvo de controvérsia no domínio ambiental, associando-a à desflorestação, destruição de *habitats*, pressão sobre recursos hídricos, erosão e perda de produtividade dos solos, e também levantou alguma polémica no plano social, surgindo alertas para as condições de trabalho inadequadas em que, muitas vezes, os biocombustíveis eram produzidos. Em todo o caso, a acusação mais significativa foi, sem dúvida, a de que a produção de biocombustíveis ameaçava a segurança alimentar. (Nobre, 2014). Para mitigar estas controvérsias socio-ambientais a CE publica a Directiva das Energias Renováveis (2009/28/CE) (Nobre, 2014).

5.2 – Directiva das Energias Renováveis (RED): Viragem Rumo à Sustentabilidade

A Directiva das Energias Renováveis (2009/28/CE), referida neste trabalho como Directiva RED, tem como objectivo promover a produção de energias a partir de fontes renováveis estabelecendo cotas para o seu consumo em relação ao consumo final bruto de cada Estado-Membro até 2020. Assim, determina que, no mínimo, 20% do consumo bruto de energia de cada Estado Membro deverá provir de energias provenientes de fontes renováveis. E, por o sector dos transportes ser de primordial importância na representatividade específica no consumo bruto de energia e nos impactos ambientais com repercussões climáticas, 10% do consumo bruto deverá corresponder a energia proveniente de fontes renováveis. Explicita critérios de sustentabilidade a cumprir na produção de biocombustíveis e define a redução das emissões de GEE que os biocombustíveis têm de apresentar em relação ao combustível fóssil de referência para garantir a sua sustentabilidade. Até 31 de Dezembro de 2016, impõe-se que os biocombustíveis atinjam uma redução de emissões de gases com efeito de estufa de, pelo menos, 35% em comparação com os combustíveis fósseis de referência. Para instalações que tenham entrado em funcionamento a partir de 1 de Janeiro de 2011, esse mesmo nível de redução exigido passa a ser de 50%. A partir de 1 de Janeiro de 2017, o nível mínimo de redução de emissões será de 50% para todas as instalações. Quanto às instalações que entrem em funcionamento a partir de 1 de Janeiro de 2017, impõe-se um nível mínimo de redução de emissões de 60% a partir de 1 de Janeiro de 2018 (Parlamento Europeu, 2009).

Estes critérios devem ser respeitados tanto pelos biocombustíveis produzidos no território dos Estados-Membros como por aqueles que sejam importados de países que não pertencem à União Europeia. O cumprimento destes critérios é importante na medida em que constitui uma condição indispensável para que os biocombustíveis sejam considerados sustentáveis e, consequentemente possam (Nobre, 2014):

- Ser contabilizados para efeitos do cumprimento das metas estabelecidas pela UE em matéria de energias renováveis;
- Beneficiar de eventuais regimes de apoio.

Apesar de não existir uma fronteira nítida entre ambos, a Directiva RED contém critérios de sustentabilidades ambiental, focados na protecção de bens ambientais, e critérios de sustentabilidade social, essencialmente centrados na salvaguarda de direitos humanos, de promoção do desenvolvimento local e regional, e do emprego.

Relativamente aos primeiros, os critérios de sustentabilidade ambiental incidem essencialmente em três domínios (Nobre, 2014):

- Nível de redução de emissões de gases com efeito de estufa

Tendo em conta os custos e potenciais impactos negativos resultantes da produção de biocombustíveis a Directiva RED impõe que apenas seja incentivada a produção de biocombustíveis que reduzam significativamente as emissões de gases com efeitos de estufa. Esse nível mínimo de redução de emissões vai aumentando com o tempo e é mais elevado para instalações de produção mais recentes. Estes critérios determinaram a necessidade de os produtores e importadores de biocombustíveis demonstrarem e certificarem a sustentabilidade das suas produções e/ou importações.

- Adequação ambiental dos terrenos de onde vêm as matérias-primas necessárias para a produção de biocombustíveis

Nesta questão, a Directiva RED determinou de uma forma exaustiva e pormenorizada quais os terrenos que não são ambientalmente adequados para a produção de biocombustíveis. Esta reitera que a produção de biocombustíveis não pode ser realizada à custa de mudança intensiva do coberto dos solos, de desflorestação, destruição de *habitats* que possam reduzir a biodiversidade, compromisso de zonas protegidas por legislação nacional ou em terrenos que tenham cativos alto teores de carbono cuja libertação não possa ser compensada num prazo razoável. Como tal, não se consideram ambientalmente sustentáveis os biocombustíveis produzidos a partir de matérias-primas provenientes de:

- Terrenos ricos em biodiversidade;
- Terrenos com elevado teor de carbono, especificamente zonas húmidas, zonas continuamente arborizadas, os terrenos com uma extensão superior a 1 hectare com árvores de mais de 5 metros de altura e um coberto florestal entre 10% e 30% e as turfeiras.

No caso dos terrenos com elevado teor de carbono, esta proibição fundamenta-se pelo facto de sendo o objectivo da promoção de biocombustíveis a redução de emissões de GEE, devem impedir-se as conversões de uso de solos que agravem significativamente o nível de emissões.

- Práticas agrícolas levadas a cabo para produção das matérias-primas usadas na concepção dos biocombustíveis

Só se consideram sustentáveis os biocombustíveis convertidos a partir de matérias-primas produzidas em condições agrícolas que se considerem benéficas para o ambiente. Os agricultores são assim obrigados a respeitar as normas de protecção dos solos, de conservação dos níveis de matéria orgânica nos solos, de controlo das queimadas para limpeza do solo após a colheita, de preservação de habitats e de protecção e gestão de águas. Este requisito é particularmente importante especificamente no que se refere à utilização de fertilizantes azotados que contribuem para a libertação de óxido nitroso (N₂O), um gás com efeito de estufa superior ao do CO₂. Este aspecto, conjuntamente com

as emissões decorrentes das queimadas, poderão por si só anular a redução de emissões de GEE decorrentes do uso de biocombustível (Keyzer et al., 2008; Nobre, 2014).

- Ponderação do consumo de água com critérios e sustentabilidade

Reconhecendo-se a importância dos recursos hidrográficos do planeta e que a sua sustentabilidade é imprescindível à vida, as condutas que os comprometam quantitativamente e qualitativamente deverão ser ponderadas de modo rigoroso (Abdel-Raouf, Al-Homaidan, & Ibraheem, 2012)

No âmbito dos critérios de sustentabilidade social, exige primordial atenção a possibilidade de ocorrer competição entre as produções de biocombustíveis e de bens de consumo alimentar, com diminuição da produção dos últimos, especialmente em países em vias de desenvolvimento (Chisti, 2007; Franco et al., 2013; Schnoor, 2006). Apesar de estudos evidenciarem existir uma relação entre a produção de biocombustíveis de primeira geração e os preços dos alimentos (Keyzer et al., 2008), outros salientaram que essa relação não permite concluir que o aumento do preço dos biocombustíveis de primeira geração determina um aumento dos alimentos (Keyzer et al., 2008).

A Directiva RED também define a metodologia de cálculo do impacto dos biocombustíveis na formação de GEE (Parte C, Anexo V) e os valores das emissões de GEE por defeito para os biocombustíveis e biolíquidos.

Segundo a metodologia explicitada na RED, o cálculo das emissões de GEE provenientes da produção e utilização de combustíveis para transportes, biocombustíveis e biolíquidos deverá ser feito segundo a Fórmula de Cálculo 1:

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} - e_{ee}$$

Fórmula de Cálculo 1. Emissões de GEE provenientes da produção e utilização de biocombustíveis (nº1, parte C, anexo V da Directiva RED) (Parlamento Europeu, 2009).

Onde:

E – Emissões totais da utilização do combustível;

e_{ec} – Emissões provenientes do cultivo de matérias-primas;

e_l – Contabilização anual das emissões provenientes de alterações do carbono armazenado devidas a alterações do uso dos solos;

e_p – Emissões do processamento;

e_{td} – Emissões do transporte e distribuição;

e_u – Emissões do combustível na utilização;

e_{sca} – Redução de emissões resultante da acumulação de carbono no solo através de uma gestão agrícola melhorada;

e_{ccs} – Redução de emissões resultante da captura e fixação de carbono e armazenamento geológico de carbono;

e_{ccr} – Redução de emissões resultante da captura e substituição de carbono;

e_{ee} – Redução de emissões resultante da produção excedentária de electricidade na co-geração.

De referir que não são tidas em conta as emissões do fabrico de máquinas e equipamento.

As emissões totais de GEE do biodiesel (E_B) de soja ou colza produzido na Sovena são calculadas pela fórmula de cálculo anterior e devem ser expressas em gramas de CO_2 equivalente por MJ de biodiesel ($g\ CO_{2eq}/MJ$).

Segundo o ponto 5, da parte C, do Anexo V, os gases com efeito de estufa a serem considerados nesta avaliação de emissões são o dióxido de carbono (CO_2), o óxido nitroso (N_2O) e o metano (CH_4). Para efeitos de cálculo da equivalência de CO_2 para cada um dos gases anteriormente citados tem-se (Parlamento Europeu, 2009):

CO_2 – 1;

N_2O – 296;

CH_4 – 23.

São então estas mesmas emissões calculadas para o ciclo de vida do biodiesel de soja e colza produzido na Sovena que comparadas com as emissões do combustível fóssil de referência (E_F), permitem calcular a redução de emissões de GEE dos biocombustíveis:

$$Redução = \frac{E_F - E_B}{E_F}$$

Fórmula de Cálculo 2. Redução de emissões de GEE dos biocombustíveis (nº4, parte C, anexo V da Directiva RED) (Parlamento Europeu, 2009).

Onde:

E_B – Emissões totais do biocombustível;

E_F – Emissões totais do combustível fóssil de referência.

No que toca a biocombustíveis e segundo o nº19, da parte C, do mesmo anexo da Directiva RED (2009/28/CE), o valor do combustível fóssil de referência (E_F) trata-se do último valor disponível para as emissões médias reais provenientes da parte fóssil da gasolina e gasóleo rodoviários consumidos na Comunidade Europeia e comunicadas nos termos da Directiva 98/70/CE. Contudo na ausência de tais dados o valor a utilizar é 83,8 g CO_{2eq}/MJ (Parlamento Europeu, 2009).

5.3 – Decreto-Lei nº 117/2010

O Decreto-Lei nº117/2010 publicado no Diário da República de 25 de Outubro corporiza a aprovação do Estado Português do preconizado na RED e, em coerência com essas orientações define a Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020). Esta tem como objectivo normalizar a incorporação dos biocombustíveis produzidos a partir de energias renováveis de modo a atingir 31% do consumo energético final bruto no sector dos transportes terrestres até 2020, para uma redução das emissões de GEE que cumpram as metas da RED e o Protocolo de Quioto, e para diminuir a dependência do país dos combustíveis fósseis e dos países seus produtores, aspectos que contribuem para a segurança do abastecimento energético. Tal como previsto na RED, Portugal define neste Decreto-Lei as metas e obrigações de incorporação de biocombustíveis nos combustíveis do sector dos transportes terrestres (Diário da República, 2010):

Tabela 4. Metas Nacionais de Incorporação de Biocombustíveis No Sector dos Transportes Terrestres (Diário da República, 2010).

| Anos | Percentagem |
|--------------------|-------------|
| 2011 e 2012 | 5% |
| 2013 e 2014 | 5,5% |
| 2015 e 2016 | 7,5% |
| 2017 e 2018 | 9% |
| 2019 e 2020 | 10% |

O referido Decreto-Lei também atribui ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I. P. (LNEG) a coordenação do processo de verificação dos critérios de sustentabilidade (Diário da República, 2010):

- Conceber, manter e gerir um sistema nacional de registo de critérios a cumprir no que respeita à sustentabilidade dos lotes de biocombustíveis e biolíquidos consumidos;
- Fazer o registo das entidades produtoras de biocombustíveis e biolíquidos, e emitir o respectivo certificado de cumprimento de critérios de sustentabilidade;
- Realizar as inspecções às instalações industriais de produção, directamente ou recorrendo a entidades contratadas;

- Criar e manter uma base de dados de elementos tipo que especifiquem as matérias-primas e a sua origem;
- Manter a listagem das entidades produtoras e incorporadoras actualizada;
- Realizar as inspecções necessárias à emissão de certificados de sustentabilidade directamente ou através de entidades contratadas para o efeito.

Por sua vez a actividade do LNEG será supervisionada pela Direcção Geral de Energia e Geologia que comunica, a partir de 2013, e de dois em dois anos, à CE as quantidades de biocombustíveis incorporados nos combustíveis destinados ao sector dos transportes terrestres e a partir de 2013.

6 – Sustentabilidade: Metodologias de Certificação

Se os documentos legais estipulavam os critérios a respeitar e as metas a atingir necessitavam ser criados documentos orientadores dos processos de validação do cumprimento dos mesmos. Surgem assim regimes de certificação concebidos ou modificados para cumprir as metas e critérios explicitados nas directivas normativas reguladoras da bioenergia, basicamente a Directiva RED (2009/28/CE).

Estes esquemas voluntários de certificação de sustentabilidade de biocombustíveis são sistemas que controlam e certificam a sustentabilidade do biocombustível. Salienta-se que todos os biocombustíveis, independentemente do país ou continente em que são produzidos, poderão ser certificados com recurso a esquemas voluntários existentes e por decisão das empresas produtoras ou importadoras de biocombustível.

Na UE as empresas que importam ou produzem biocombustíveis têm de comprovar que estes são produzidos de forma sustentável, pedindo uma auditoria externa segundo um esquema legalmente aprovado para provar tal situação. A Comissão Europeia não executa estes esquemas por si própria, permitindo que empresas privadas, ou instituições, se candidatem a desempenhar esse papel. A empresa importadora ou produtora de biocombustíveis suportará o custo da auditoria ao seu produto. A empresa certificadora determinará um auditor independente para executar auditoria de resultados e de processos, verificando os documentos e dados que necessitar para monitorizar e validar, no local, os critérios legais a cumprir.

Se as regras do regime voluntário foram cumpridas a empresa certificadora pode emitir um certificado de sustentabilidade para o produto.

Os principais critérios de sustentabilidade que os esquemas têm de verificar devem incluir (Comissão Europeia, 2011a):

- Critérios de controlo do uso da terra dado que não é permitida a conversão de terras com elevado teor de carbono ou terrenos ricos em biodiversidade em terras a utilizar para a produção de biocombustíveis;
- Controlo da quantidade mínima de redução de GEE ao longo de toda a cadeia de produção assente na comparação entre as emissões dos biocombustíveis e as emissões do combustível fóssil de referência. O biocombustível apenas será sustentável quando se verifique uma redução comprovada de emissões de pelo menos 35% comparativamente ao combustível fóssil de referência. Em 2017 estas reduções passarão a ser de pelo menos 50%. Biocombustíveis produzidos em instalações que iniciem produção a partir de 1 de Janeiro de 2017 terão de apresentar reduções de pelo menos 60% a partir de 2018;

- Monitorização de todo o ciclo de vida do biocombustível, desde a plantação da matéria-prima até à bomba de abastecimento, incluído todas as etapas de processamento intermédias.

A Comissão por sua vez avalia os esquemas quanto à qualidade do seu sistema de controlo e fiabilidade, pelo que os esquemas devem garantir que (Comissão Europeia, 2011a):

- Todas as empresas envolvidas na cadeia de abastecimento são auditadas antes de fazer quaisquer declarações sobre a sustentabilidade no âmbito do esquema;
- O sistema administrativo é protegido contra a fraude;
- A auditoria das empresas envolvidas na cadeia de abastecimento ocorre pelo menos uma vez por ano;
- Os auditores são competentes e independentes. Os esquemas podem estabelecer nas suas regras que, apenas auditores que respeitem as normas do *International Organization for Standardization* (ISO) em vigor e que sejam acreditados por um organismo de acreditação independente membro do *International Accreditation Forum*, possam realizar a auditoria em nome desse esquema.

Quando a Comissão considerar que as regras do regime voluntário cobrem adequadamente os requisitos exigidos, esta publica no Jornal Oficial da Comissão Europeia uma Decisão de Execução reconhecendo o esquema. Esse reconhecimento tem um prazo de 5 anos e qualquer extensão exigirá uma nova Decisão.

De acordo com a Directiva RED (2009/28/CE) cada Estado-Membro deve criar um sistema nacional segundo o qual as empresas podem garantir a sua conformidade com os critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis. As empresas podem, assim, optar por seguir o sistema nacional ou recorrer a esquemas voluntários, como acontece na Sovena. Os sistemas nacionais também garantem uma auditoria independente, contudo, certos padrões podem variar entre Estados-Membros fazendo cada sistema nacional válido apenas no Estado-Membro em que foi criado, podendo criar impedimento à comercialização de biocombustível. No caso da Sovena este problema não se coloca, não só por ter recorrido a um sistema de certificação internacional mas também porque toda a produção é incorporada no consumo nacional.

Actualmente a Comissão Europeia reconhece 7 esquemas voluntários que podem ser aplicados nos 27 Estados-Membros da UE (Comissão Europeia, 2011a):

- Bonsucro EU (*Roundtable initiative for sugarcane based biofuels*, foco no Brasil)

Bonsucro EU é uma versão do esquema Bonsucro, especificamente projectado para o estudo do etanol proveniente da cana-de-açúcar com especial foco na produção a partir de cana brasileira.

- RTRS EU RED (*Roundtable initiative for soy based biofuels*, foco na Argentina e Brasil)

RTRS EU RED é uma versão do esquema RTRS, projectado especificamente no estudo de diesel à base de soja com especial foco na produção de soja argentina e brasileira.

- RSB EU RED (*Roundtable on Sustainable Biofuels*)

RSB EU RED é uma versão projetada que tal como o ISCC cobre todos os tipos de biocombustíveis e tem um alcance global.

- 2BSvs (*Biomass Biofuels Sustainability voluntary scheme*)

2BSvs parte de uma iniciativa francesa e foi desenvolvido por um consórcio de empresas cobrindo todos os tipos de biocombustíveis e com um alcance global.

- RBSA (*Abengoa RED Bioenergy Sustainability Assurance*)

RBSA é uma iniciativa desenvolvida pela Abengoa, projectada para o etanol e com um alcance global. Estabelece um requisito obrigatório de cálculos apenas com valores reais para as emissões de GEE com vista a obter um melhor desempenho de redução de emissões na cadeia de abastecimento.

- Greenergy Brazilian Bioethanol verification programme

Este esquema provém de uma iniciativa da *Greenergy* dedicada ao estudo do etanol de cana produzido no Brasil.

- ISCC (*International Sustainability and Carbon Certification*)

O esquema de certificação ISCC foi a metodologia de cálculo de emissões de GEE adoptada neste estudo dado que já era o sistema adoptado pela Sovena e será abordado no capítulo 6.1 – Sistema de Certificação ISCC.

6.1 – Sistema de Certificação ISCC

International Sustainability and Carbon Certification é uma iniciativa global desenvolvida numa abordagem plurilateral envolvendo várias empresas de toda a cadeia de abastecimento, organizações de pesquisa, ONGs como a WWF e associações industriais de diferentes países. O esquema ISCC é actualmente regido por uma associação com 55 membros, cobrindo todos os tipos de biomassa e biocombustíveis numa escala global e recebendo reconhecimento em todos os critérios da Directiva RED (2009/28/CE).

O esquema voluntário de certificação ISCC apresentou à Comissão a 18 de Março de 2011 o pedido de reconhecimento, sendo publicado a 19 de Julho de 2011 a Decisão de Execução da Comissão, reconhecendo o esquema e concluindo que “a avaliação do regime ISCC concluiu que este satisfaz normas adequadas de fiabilidade, transparência e auditoria independente e que também respeita os requisitos metodológicos previstos no anexo V da Directiva 2009/28/CE” (Comissão Europeia, 2011c).

Este sistema tem como principal objectivo o cálculo das emissões de GEE, compreendendo as emissões de GEE ao longo de todo o ciclo de vida, incluindo as emissões relevantes da produção de biomassa, processos de conversão, de transporte e distribuição. Informações sobre as emissões de GEE geradas e consequentes reduções, comparativamente com o uso de energia fóssil, são os elementos fulcrais para a rastreabilidade e sustentabilidade da biomassa e biolíquidos (ISCC, 2011).

A metodologia de ISCC emerge da metodologia de cálculo proposta na Directiva RED.

6.2 – Tipos de Informação Utilizada

De acordo com a Directiva RED (2009/28/CE) e no contexto deste trabalho, foram utilizados dois tipos de dados no cálculo das emissões de GEE (ISCC, 2011):

- Utilização de valores por defeito: Presentes na Directiva RED (2009/28/CE) (parte D do anexo V), os valores por defeito são valores derivados de valores típicos⁹ através da aplicação de factores pré-determinados e que em circunstâncias especificadas na Directiva, podem ser utilizados em vez do valor real.
Existem valores por defeito globais com a soma do total de emissões associadas ao produto final para diferentes tipos de biocombustíveis, como também os valores por defeito discriminados para o cultivo, processamento, transporte e distribuição de um tipo específico de biocombustível separadamente. Estes valores representam uma estimativa e encontram-se expressos em gramas de CO₂ equivalente/MJ do produto final, no caso deste trabalho, gramas de CO₂ equivalente/MJ de biodiesel.
- Utilização de valores reais: Valores individualmente calculados para elementos específicos intervenientes na cadeia de produção tendo em conta todos os *inputs* relevantes no processo, como por exemplo matérias-primas e produtos químicos para além de outras

⁹ Define-se como “valor típico”, uma estimativa da redução representativa de emissões de GEE num determinado modo de produção de biocombustível (n), Artigo 2.º da Directiva RED 2009/28/CE).

utilidades, de acordo com as metodologias ISCC e a estipulada na parte C do Anexo V da Directiva RED (2009/28/CE).

6.3 – Bases de Dados Complementares: BioGrace e EcolInvent

O BioGrace trata-se de um projecto financiado pela União Europeia que visa contribuir para que os cálculos de emissões de GEE dos biocombustíveis sejam feitos de forma transparente e uniforme entre os produtores de biocombustíveis dos diferentes Estados Membros. Este projecto surgiu do facto da Directiva RED (2009/28/CE) não especificar claramente os seus factores de conversão nem como os seus *standard values* foram obtidos. Para converter os *inputs* em emissões de GEE são necessários os *standard values* (lista composta por dados como coeficientes de emissão de GEE, PCI's, densidades, eficiências de transporte entre outros). Tal levou a que diferentes fontes de literatura e operadores económicos assumissem valores diferentes de emissões associadas para o mesmo *input* (European Biofuels Technology Platform, 2014). O BioGrace e a sua folha de cálculo com os seus respectivos *standard values* (BioGrace, 2013) contribuíram para uniformizar o cálculo de emissões de GEE, sempre cumprindo a metodologia e critérios de sustentabilidade definidos pela Directiva RED (2009/28/CE) e como tal sendo reconhecido pela Comissão Europeia (BioGrace, 2014).

Esta uniformização dos cálculos e *standard values* assumidos, não só facilitou o trabalho dos auditores como veio a criar condições de concorrência equitativas no mercado europeu de combustíveis, que outrora não existia.

Neste trabalho de investigação, para calcular as emissões de GEE recorrendo a valores reais é necessário consultar o factor de emissão associado a cada input interveniente no processo. Um factor de emissão de uma forma geral trata-se de uma relação entre a quantidade de poluição gerada associada a uma determinada matéria, sendo geralmente expressos em massa de poluente por uma unidade de, por exemplo, peso, distância percorrida ou volume do poluente, mediante o *input* considerado (por exemplo, kg CO_{2equivalente}/kg metanol ou kg CO_{2equivalente}/l diesel). O esquema ISCC compilou os factores de emissões mais comuns, na “*Lista de Factores de Emissão do ISCC*” (ISCC, 2011). Esta lista foi feita recorrendo essencialmente à plataforma BioGrace e aos seus *standard values* definidos.

Para além da lista de *standard values*, o BioGrace também desenvolveu uma ferramenta de cálculo de GEE que se encontra disponível no site do projecto (BioGrace, 2013).

Nesta dissertação, graças a esta plataforma, foi possível também consultar rácios de consumo de matérias químicas e outras subsidiárias como a electricidade ou vapor de água recolhidas na plataforma para as diferentes etapas de produção de biodiesel de soja e biodiesel de colza. A partir de esses valores foi possível traçar comparações com os rácios de consumo internos,

registados pela Sovena para os dois processos produtivos (soja e colza) como se pode ver no capítulo 11 – Tratamento, Apresentação e Discussão de Resultados.

7 – Grupo Sovena

O Grupo Sovena é um grupo industrial detido a 100% pela Nutrinveste SGPS, SA, que desenvolve actividade no âmbito da agroindústria, encontrando-se inserido em quatro áreas de negócio inter-relacionadas: Agricultura, Oleaginosas, Bens de Consumo e Biodiesel. O grupo empresarial é formado por um conjunto de empresas, próprias, em parceria ou com gestão partilhada, que produzem óleos a partir de sementes, azeite, azeitonas e sabões, assim como outros co-produtos que também comercializa.

Actualmente tem presença física estabelecida nos continentes europeu, americano, africano e asiático, e exporta para mais de 70 países e tem operações directas em 9 países, com receitas anuais aproximadas de 1.2 mil milhões de euros por ano, assumindo a liderança mundial no sector do azeite de oliveira (Sovena, 2013).

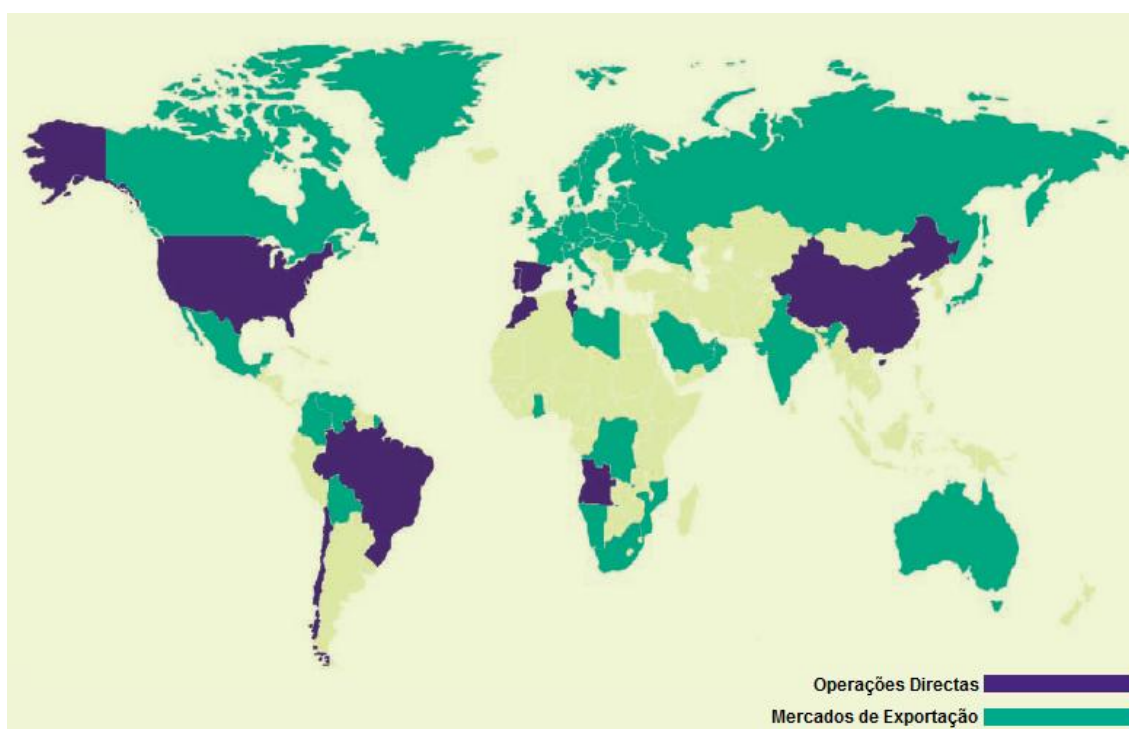


Figura 17. Distribuição geográfica das relações produtivas e comerciais do grupo Sovena. Fonte: (Sovena, 2013)

Na área da produção de azeite detém investimentos agrícolas como sejam plantações de olival, em Portugal, Espanha e Marrocos, e lagares para extracção de azeite que lhe garantem autonomia e controlo em toda a cadeia de valor do produto que comercializa. No mercado dos óleos alimentares detém fábricas de extracção de óleos a partir de sementes, trabalhando com soja, colza, e girassol, produzindo óleos puros e *blends*, consoante as exigências do mercado. A Sovena Oilseeds situa-se em Portugal e integra no seu complexo, além de duas fábricas de

extração de óleos, uma unidade fabril de produção de biocombustível que produz biodiesel de soja e colza. Apesar de não ser o principal bem de produção da Sovena, o uso de sementes oleaginosas para produzir biocombustíveis introduziu a Sovena no mercado energético.

O conceito de sustentabilidade sempre esteve integrado no *core business* do grupo Sovena desde a sua origem influenciando as suas prioridades e estratégias assumidas, dando especial relevância a questões-chave como segurança alimentar, sustentabilidade em toda a cadeia de valor, pesquisa, desenvolvimento e inovação, gestão dos resíduos e subprodutos, energia e alterações climáticas, saúde e nutrição.

7.1 – História

No final do século XIX, Alfredo da Silva, um importante industrial português, criou a Companhia União Fabril (CUF) por fusão das empresas químicas União Fabril e Companhia Aliança Fabril. Suportada na visão "O que o país não tem, a CUF cria" e com espírito empreendedor e modernista, associado ao facto de possuírem tecnologia evoluída de acordo com os padrões internacionais tornou-se, no início do século XX, um dos maiores grupos industriais, comerciais e financeiros portugueses.

O grupo CUF era uma força impulsionadora da economia portuguesa representando 5% do PIB nacional, e possuía um parque industrial de maior dimensão situado no Barreiro e mais de 100 empresas em todo o país, onde laboravam 110 000 trabalhadores assegurando uma produção de mais de 1 000 produtos. O grupo encontrava-se envolvido em diversos sectores, desde o transporte a fertilizantes, têxteis, ácidos e óleos de sementes, entre outros.

O espírito empreendedor de Alfredo da Silva e uma boa gestão possibilitou ser um grupo empresarial que sobreviveu a duas guerras mundiais. Mais tarde em Abril de 1974, o processo de nacionalização apoiado pelo novo regime político mudou radicalmente a realidade do Grupo CUF (Sovena, 2013).

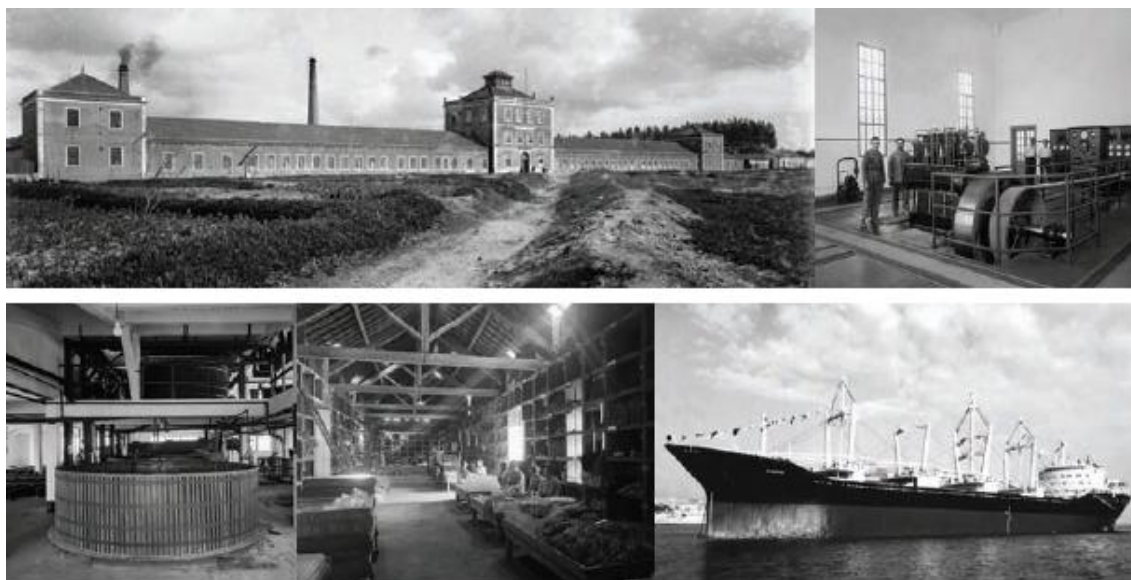


Figura 18. Companhia União Fabril (CUF) – Barreiro. Fonte: (Sovena, 2013).

Alguns anos após a revolução, quando se restabeleceu um clima de estabilidade social e política, os netos de Alfredo da Silva, Jorge de Mello e José Manuel de Mello, assumiram a reconstrução do grupo ficando Jorge de Mello responsável pelo negócio agroindustrial e José Manuel de Mello pela parte financeira e de saúde.

Nos anos 80, com a compra da Sociedade Alco (Algodoeira Comercial e Industrial) e a Fábrica Torrejana de Azeites em Torres Novas, Jorge de Mello reentrou no mercado português, na área da extracção, refinação e engarrafamento de óleos de sementes. Na década de 90, o grupo prosseguiu com aquisições no sentido de reforçar a sua representatividade nesse mercado, comprando a Lusol, empresa envolvida na extracção e refinação de óleos de sementes e produção de sabões, a Tagol, envolvida na extracção e refinação de diversas oleaginosas incluindo a soja, e que tinha um contrato de exclusividade com a multinacional Bunge, e por fim a Sovena, criada em 1956 através de uma parceria entre a CUF, Macedo & Coelho e a Sociedade Nacional de Sabões, para produção de óleos de semente e sabões (Sovena, 2013).

O início do século XXI foi pautado pela reestruturação industrial do grupo, concentrando as actividades de extracção e refinação na Tagol e o engarrafamento e *marketing* na Sovena. Esta nova organização do grupo foi acompanhada pela definição de uma estratégia de internacionalização e simultaneamente de procura de autonomia e controle de toda a cadeia de valor no mercado. Alinhado com estas estratégias iniciou-se um processo de aquisição ou estabelecimento de parceria em vários locais geográficos e em vários sectores de actividade no âmbito da produção da Sovena.

Em 2002 adquiriu-se os activos da Agribética em Sevilha que laborava na área da refinação e engarrafamento de óleos de sementes, essencialmente de azeite, com consequente integração da

Sovena Ibérica de Aceites, permitindo um rápido crescimento do grupo tornando-se líder de mercado na Península Ibérica. Após estabelecido no mercado ibérico, e dando continuidade a uma estratégia de expansão mas para outro continente, o grupo adquiriu a empresa Simão & Co com o objectivo de relançar a sua marca principal, Andorinha, no mercado brasileiro. Isto foi seguido, em 2005, com a aquisição de 80% da *East Coast Olive Oil*, a maior engarrafadora de azeite nos EUA. O Grupo também criou a *Tagol Ibérica de Aceites* em Espanha, para facilitar o seu acesso ao mercado de sementes de girassol no país. Tendo alcançado uma forte presença na Europa, América do Sul e do Norte, o grupo fez uma nova parceria com o grupo SOMED, de forma a facilitar a criação de uma nova empresa sediada em Marrocos, chamada Soprolives, com o intuito de produzir e vender azeite de oliveira para vários mercados internacionais. Em 2006, a Tagol em parceria com a Bunge criou a BioColza, cuja principal actividade era a extracção e refinação de óleo de colza e derivados, e adquiriu 80% da Exoliva, uma empresa essencialmente dedicada à produção e exportação de azeitonas, tendo uma posição significativa nos mercados russos, ucranianos e do Médio Oriente (Sovena, 2013).

A entrada do grupo no sector agrícola aconteceu em 2006, mas foi só em 2007 que se deu a criação do projecto agrícola chamado Elaia através de uma parceria da Soprolives com a Atitlan, visando plantar cerca de 25.000 hectares de olival, criando um maior controle de toda a cadeia de valor no mercado. Também em 2007 foi criada na Tunísia a Sovena M.E.N.A. (Médio Oriente e Norte de África), de novo através de uma parceria com uma empresa local, com o objectivo de abastecer o mercado local, os países envolventes e exportar. Foi também em 2007 que a Sovena entrou no negócio de produção e comercialização de biodiesel. A fábrica foi construída ao lado das instalações da Tagol, actual Sovena Oilseeds Portugal, e começou a produção em Dezembro de 2007.

Em 2008 procedeu-se à reestruturação da identidade do grupo, imagem e nomes, surgindo o Grupo Sovena, anteriormente conhecido como Alco, que desenvolvia actividade em quatro áreas de negócio - Biodiesel, Agricultura, Oleaginosas e Bens de Consumo. Visando aumentar a capacidade de produção na refinação de azeite, em 2010 foi o inaugurado o Lagar do Marmelo em Ferreira do Alentejo. Este projecto acabou por permitir à Sovena destacar-se em primeiro lugar no sector, estando presente em todas as etapas da cadeia de valor do azeite. Em 2012 foi estabelecida uma parceria com a Deoleo para explorar a fábrica de óleo de semente de Andújar, na província espanhola de Jaen e adquiriu-se 15% da empresa chilena *Almazaras del Pacífico*, constituída por dois lagares de azeite. Por fim, em 2013 foi adicionada ao grupo mais uma unidade de extracção de azeite em Portugal, o Lagar do Painho, processando os olivais das localidades próximas de Avis, Elvas e Campo Maior (Sovena, 2013).

7.2 – Fábrica

A unidade industrial Sovena Oilseeds Portugal localiza-se em Almada, especificamente em Palença de Baixo, na margem sul do rio Tejo, localização que possibilita a existência de um terminal portuário para a atracagem de navios até uma tonelagem máxima de 100 000 toneladas, para carregar e descarregar (Figura 19).



Figura 19. Localização da unidade industrial Sovena Oilseeds Almada, Portugal. Fonte: (Sovena, 2012)

Este complexo é constituído por um terminal portuário, diversas áreas de armazenamento de matérias-primas, como silos e tanques de armazenamento de sementes e outras utilidades, e armazenamento de matérias intermédias como óleo bruto, e produtos finais de valor comercial, como sejam farinhas, óleo refinado, glicerina e biodiesel.

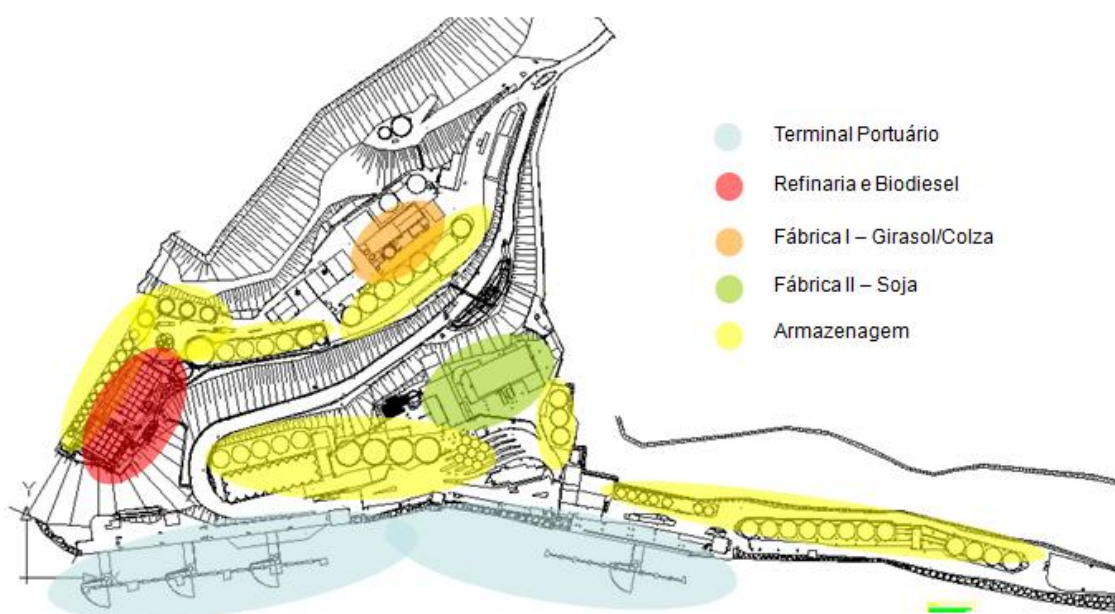


Figura 20. Planta geral do complexo industrial Sovena Oilseeds Portugal em Almada. Fonte: (Sovena, 2012)

Como indicado na Figura 20 a Sovena é constituída por duas fábricas de extracção e um complexo de refinaria. A Fábrica I dedica-se à extracção de óleo bruto e produção de farinhas, trabalhando alternadamente com girassol e colza, e a Fábrica II, apenas à extracção do óleo cru de soja, semente que chega à Sovena por via marítima. Na Refinaria e Biodiesel transforma-se o óleo cru em óleo refinado ou em biodiesel.

8 – Processo de Produção

O processo de produção contempla as etapas de extracção, pré-tratamento e transesterificação.

8.1 – Etapa de Extracção

Na Sovena Oilseeds existem duas unidades fabris independentes, denominadas por Fábrica 1 e Fábrica 2, em que na primeira podem ser processados girassol ou colza (Figura 21) e na segunda apenas soja (Figura 22). A produção de óleos vegetais alimentares ocorre a partir do processamento de sementes oleaginosas e estas podem ser soja, girassol e colza. Esta actividade produtiva consiste, genericamente, na preparação das sementes oleaginosas e na extracção do óleo por processos mecânicos (girassol/colza) e químicos (girassol, soja e colza).

De referir que é na extracção química do óleo, que se utiliza o hexano para solubilizar os triglicérides e desta forma dissolver o óleo de soja e colza ainda presente nas sementes que não tenha sido extraído pelos processos mecânicos.

Os produtos resultantes dos processos de extracção de óleos vegetais são óleos crus e farinhas de soja, girassol e colza. Os óleos crus destinam-se a indústrias do sector de gorduras alimentares para consumo humano e também à indústria de alimentos para animais, indústria farmacêutica e produção de biodiesel. As farinhas são transportadas para instalações de fabrico de alimentos para animais.

A etapa de extracção na Sovena é caracterizada pelo consumo de um único produto químico, o hexano e pelo consumo das utilidades energia eléctrica e vapor de água sobreaquecido, ambos produzidos na unidade de co-geração. Nesta etapa também se verifica consumo de gás natural mas só no processo de extracção do óleo de soja, devido ao funcionamento do secador, responsável pela remoção de humidade nas sementes de soja. O mesmo não é necessário para as sementes de colza, não se registando de consumo de gás natural na etapa de extracção.

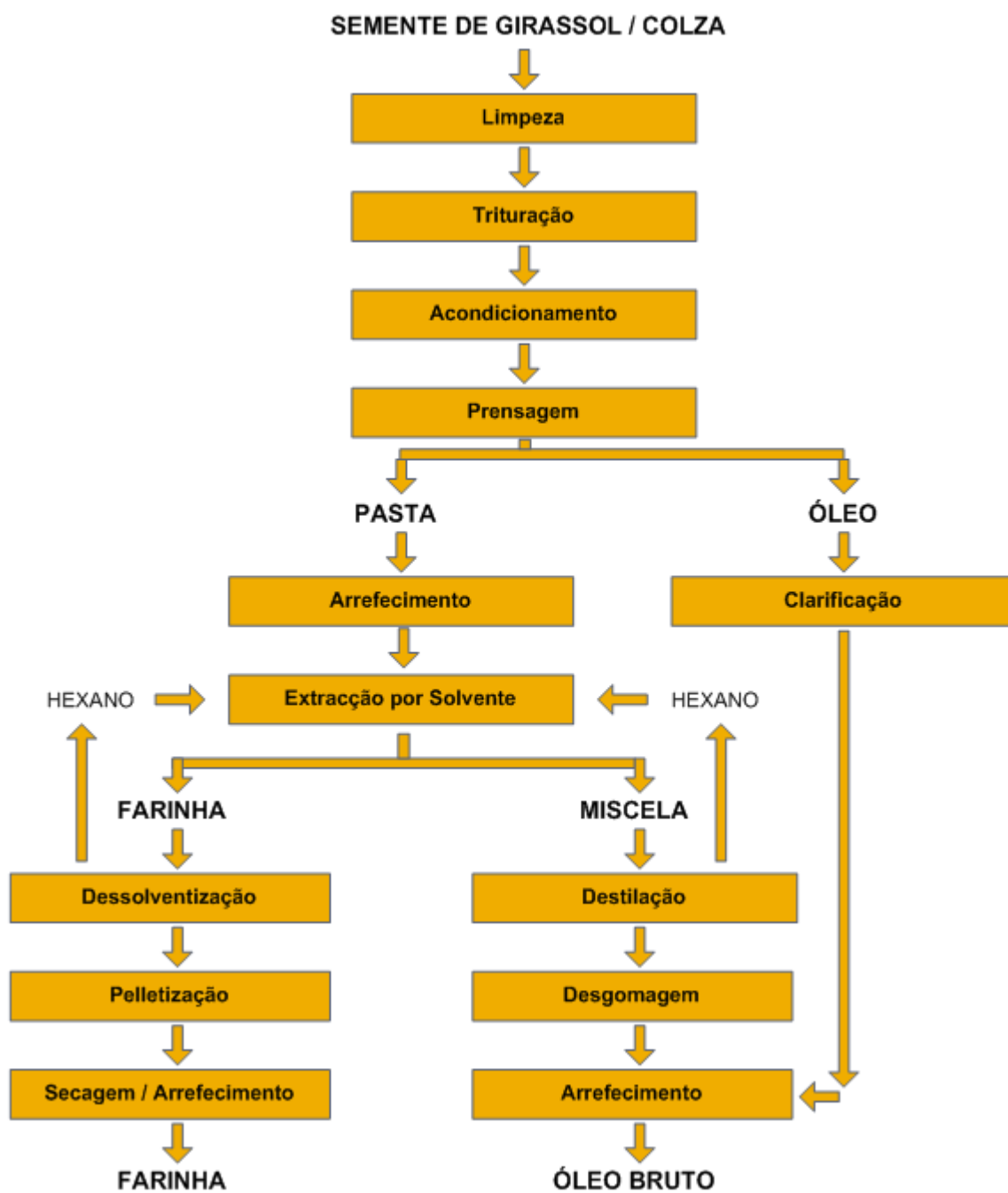


Figura 21. Fluxograma da etapa de Extracção do óleo bruto de colza e girassol na Sovena Oilseeds. Fonte: (Sovena, 2012)

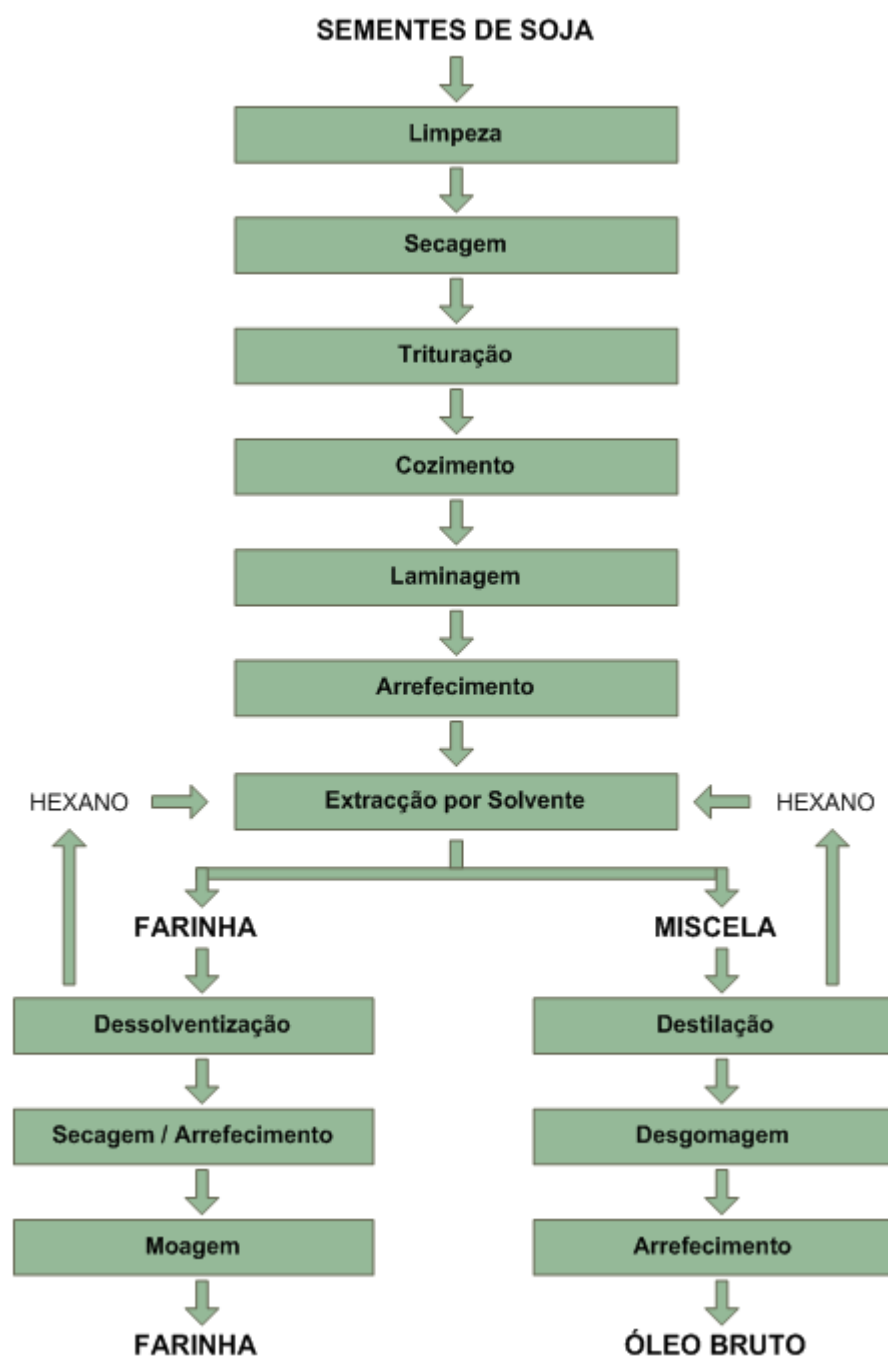


Figura 22. Fluxograma da etapa de Extracção do óleo bruto de soja na Sovena Oilseeds. Fonte: (Sovena, 2012)

8.2 – Etapa de Pré-Tratamento

A etapa de Pré-Tratamento na Sovena consiste num processo de refinação física que consiste basicamente em três sub-etapas:

- **Desgomagem**

Inicialmente o óleo bruto é aquecido a 70°C, por passagem em permutadores de calor, sendo posteriormente adicionado em linha ácido fosfórico, seguindo a mistura para um tanque de contacto com agitação promovendo a hidratação dos fosfatídeos não hidratáveis. Após algum tempo de reacção (aproximadamente 1 hora), o óleo segue para um segundo tanque de contacto depois de uma adição de soda cáustica para neutralizar o excesso de ácido fosfórico anteriormente adicionado. Seguidamente, o óleo é novamente aquecido a 85°C por passagem em dois permutadores e é promovida a separação das gomas por um processo de centrifugação. Estas gomas separadas, são armazenadas num tanque específico e são vendidas a entidades externas.

- **Pré Tratamento**

Após o processo de centrifugação, subsistem ainda teores residuais de fósforo e sabões, pelo que é necessário uma etapa de pré-tratamento do óleo, que consiste numa filtração com terras adequadas à adsorção destes compostos a uma temperatura de cerca de 100°C e sob vácuo.

- **Desacidificação**

A desacidificação tem como objectivo eliminar os ácidos gordos livres (*Free Fatty Acids*), permitindo reduzir a acidez do óleo para um valor máximo de 0,1%. A desacidificação tem como princípios de funcionamento a destilação e o arrastamento por vapor directo dos ácidos gordos livres e outras substâncias presentes no óleo. Trata-se de uma operação efectuada a altas temperaturas (entre 220°C e 260°C) e sob forte vácuo (cerca de 2mbar de pressão absoluta). O calor necessário ao processo é fornecido por uma caldeira de fluido térmico a gás natural. São os ácidos gordos obtidos nesta etapa que depois de armazenados são posteriormente processados na esterificação ácida da fábrica de biodiesel.

De uma forma global, a etapa de pré-tratamento na Sovena engloba o consumo dos produtos químicos: ácido fosfórico, soda cáustica, ácido cítrico e areias clarificantes, para além do consumo das utilidades energia eléctrica e vapor de água sobreaquecido (ambos provenientes da unidade de co-geração) e gás natural. Na Figura 23 encontra-se esquematizada a etapa de pré-tratamento que ocorre na Sovena tendo em conta as sub-etapas anteriormente descritas:

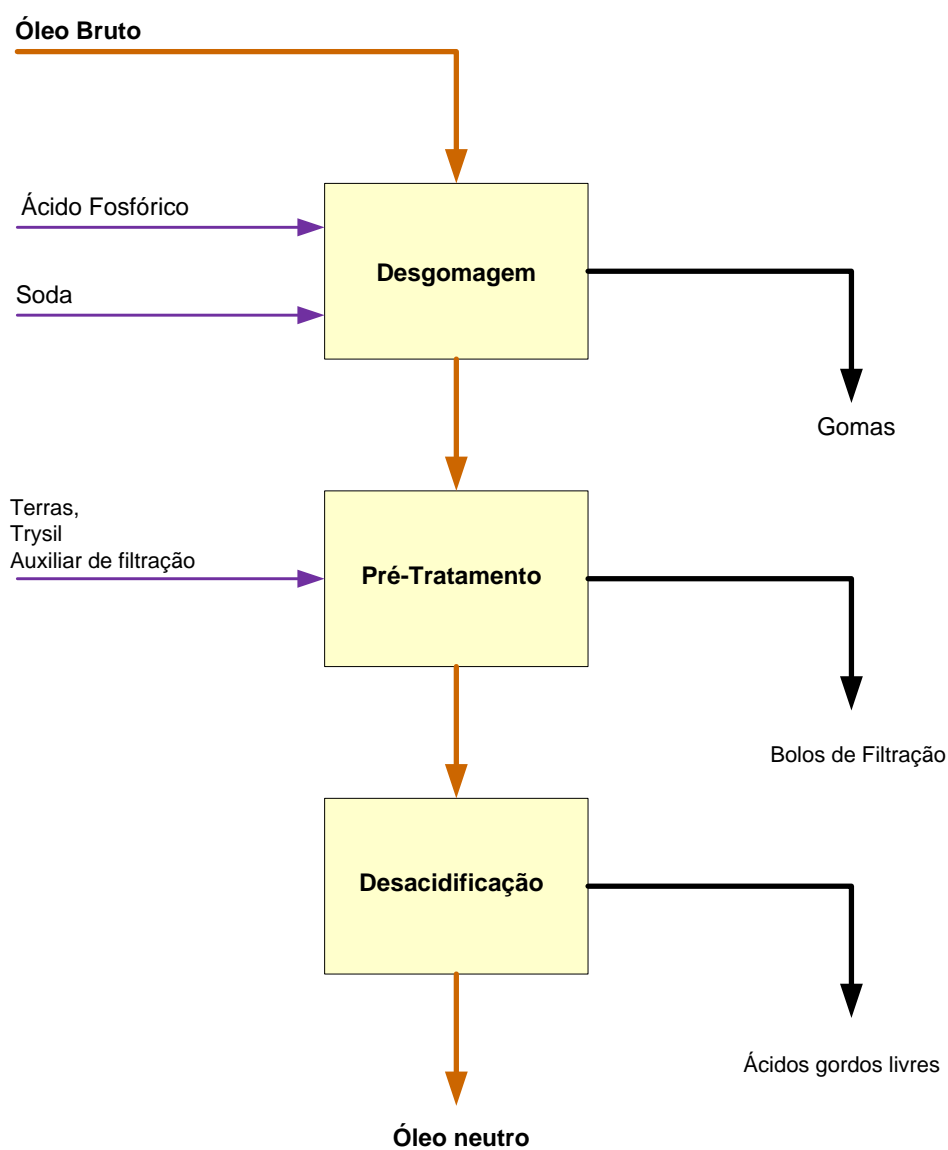


Figura 23. Fluxograma da etapa de Pré-Tratamento na Sovena Oilseeds. Fonte: (Sovena, 2012)

8.3 – Etapa de Transesterificação

Das várias metodologias existentes na literatura para processos de obtenção de biodiesel, a transesterificação de óleos vegetais é actualmente o método de eleição, principalmente devido às características físicas dos ésteres de ácidos gordos serem muito semelhantes às do diesel (Ma & Hanna, 1999; Schuchardt, Sercheli, & Matheus, 1998).

O biodiesel é produzido na Sovena através de uma reacção de transesterificação obtendo-se no final uma mistura de ésteres de ácidos gordos (biodiesel) e um co-produto (glicerol).

Numa reacção de transesterificação são necessárias 3 moles de álcool (metanol ou etanol) para cada mole de triglicerídeo, para produzir 3 moles de ésteres metílicos de ácidos gordos e 1 mole de glicerol. Seguidamente apresenta-se a reacção global da formação de biodiesel, bem como as reacções sucessivas e reversíveis, envolvidas no seu processo de produção (Ruas, 2011):

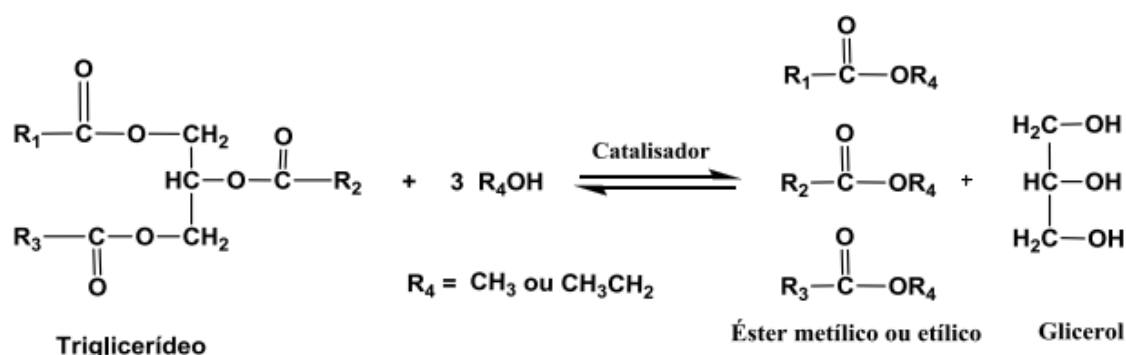


Figura 24. Reacção geral de formação de biodiesel (Ruas, 2011).

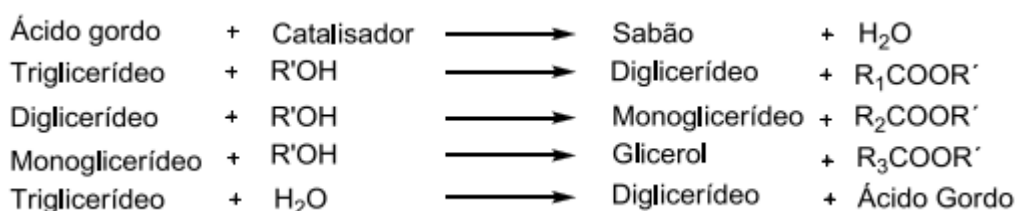


Figura 25. Reacções sequenciais envolvidas no processo de produção do biodiesel (Ruas, 2011).

O álcool mais usado neste processo a nível industrial e também no processo da Sovena Oilseeds, é o metanol e uma das razões deve-se ao seu baixo custo na maioria dos países e às suas vantagens físicas e químicas (polaridade; álcool de cadeia curta; reacção rápida com triglicerídeo; fácil dissolução do catalisador básico) (Ma & Hanna, 1999). Devido ao carácter reversível da reacção o metanol é adicionado em excesso numa razão molar de 6:1 aproximadamente,

deslocando o equilíbrio químico no sentido dos produtos, o que aumenta o rendimento do éster bem como permite a sua separação do glicerol formado (Geris et al., 2007).

Como referido anteriormente, utiliza-se um catalisador para acelerar a reacção de transesterificação. Dito isto, pode-se falar em processos de catálise ácida, básica ou, mais recentemente, processos enzimáticos. O processo de produção de biodiesel na Sovena dá-se por catálise básica por ser mais rápido e apresentar maiores taxas de conversão do que o processo de catálise ácida. Esta característica, juntamente com o facto dos catalisadores alcalinos serem menos corrosivos que os ácidos, torna o processo de catálise básica mais atractivo do ponto de vista industrial obtendo-se maiores rendimentos (Felizardo, 2003).

O catalisador utilizado na Sovena Oilseeds é o metilato de sódio (catalisador básico). A grande maioria dos processos de produção industrial do biodiesel utiliza o metilato de sódio como catalisador, pois além dos tempos de reacção reduzidos, podem ser utilizados em baixas concentrações fornecendo altos rendimentos reacionais (superior a 99%) sob condições reacionais moderadas. Considerando que com o uso deste catalisador, a fase da glicerina se separa facilmente da fase que contém os ésteres, o processo produtivo aplicado na indústria permite a realização de duas etapas reacionais de transesterificação, o que torna o processo ainda mais eficiente (Dabdoub, Bronzel, & Rampin, 2009).

Inicialmente, dá-se a formação de metóxido de sódio através da reacção do metanol com uma base forte, hidróxido de sódio também denominada soda cáustica:

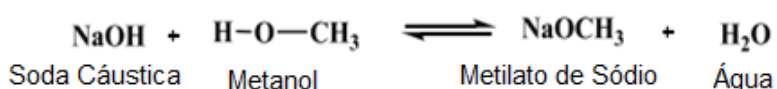


Figura 26. Reacção de formação de metilato de sódio (Ruas, 2011).

A Sovena não realiza nas suas instalações esta primeira reacção do processo de transesterificação, comprando já o metilato de sódio.

No segundo passo, ocorre a transesterificação propriamente dita, onde o metilato de sódio reage com os triglicerídeos (Ruas, 2011):

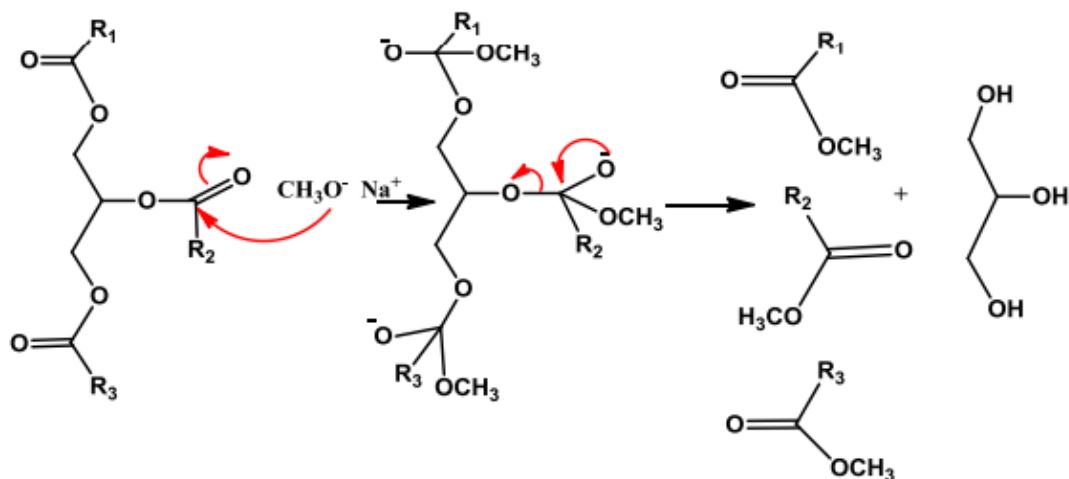


Figura 27. Mecanismo esquemático da reacção de transesterificação por catálise básica (Ruas, 2011).

Os produtos finais da reacção formam duas fases distintas: o biodiesel e a glicerina. O biodiesel produzido apresenta uma elevada pureza, não contendo vestígios de glicerina, água, catalisador residual ou álcool excedente devendo passar por as etapas de purificação necessárias até atingir tal condição. A glicerina mais densa arrasta consigo a maioria das impurezas existentes, tal como os sabões, assim como o metanol e o metilato de sódio que não reagiram. Neste processo, obtém-se um co-produto de alto valor comercial: a glicerina ou glicerol. Este co-produto, após purificação, faz da glicerina um produto de elevado valor comercial tendo diversas aplicações no sector farmacêutico, cosmético e químico.

É na unidade de produção de biodiesel e glicerina da Sovena que ocorre a reacção de transesterificação de óleo de soja, colza e palma. Esta unidade possui ainda um reactor de esterificação ácida, que permite a esterificação dos ácidos gordos livres (destilados) produzidos na unidade de pré-tratamento de óleos e na purificação de glicerina e sua posterior incorporação como matéria-prima para a reacção de transesterificação, de acordo com o seguinte diagrama:

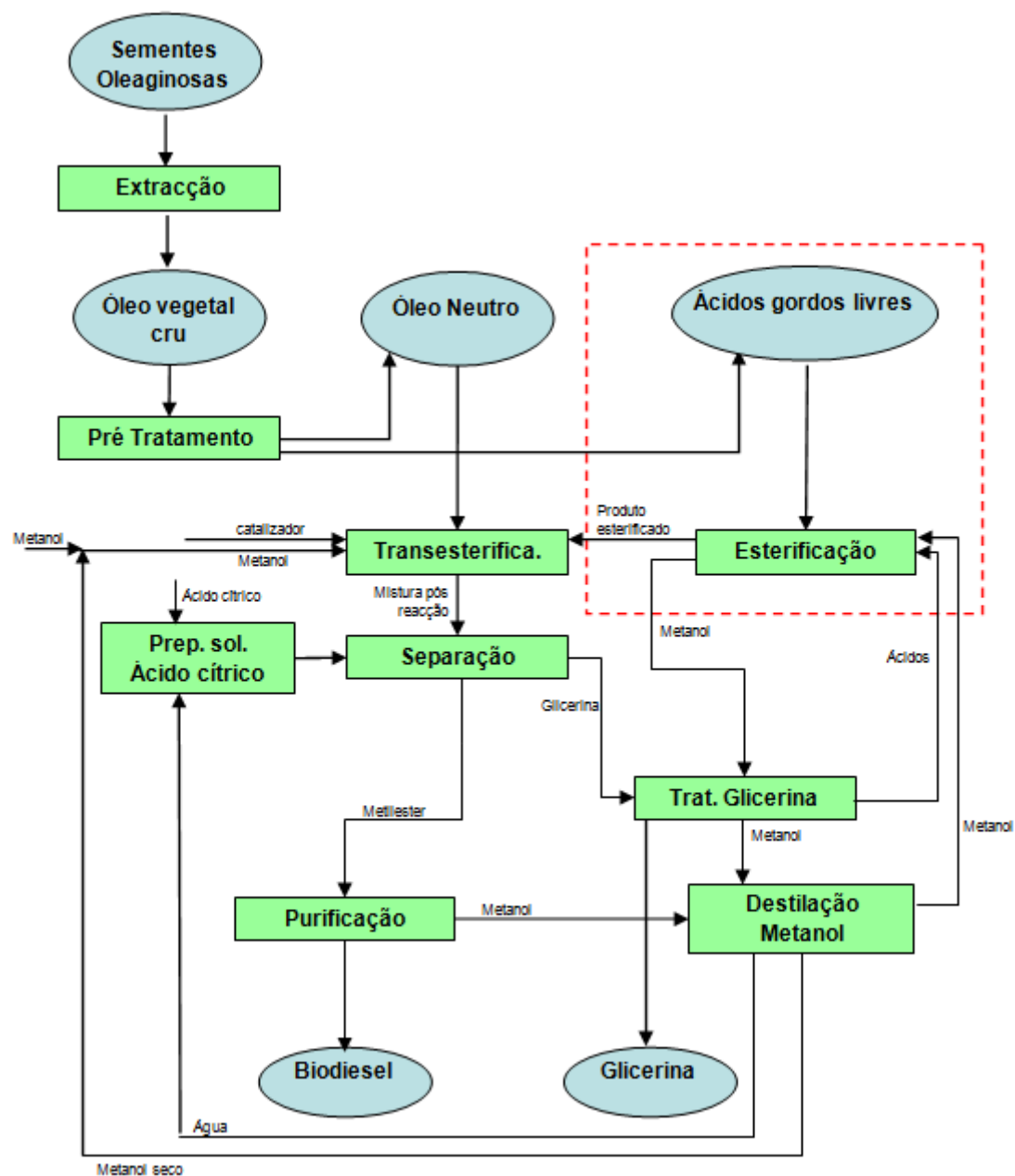


Figura 28. Fluxograma da etapa de Transesterificação na Sovena Oilseeds. Fonte: (Sovena, 2012)

Globalmente, a etapa de transesterificação na Sovena é caracterizada pelo consumo dos produtos químicos: metanol, metilato de sódio, ácido clorídrico, soda cáustica, ácido cítrico, antioxidante e ácido sulfúrico para além das utilidades energia eléctrica e vapor de água sobreaquecido (ambas produzidas na unidade de co-geração).

9 – Metodologia de Análise de Ciclo de Vida

Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta analítica utilizada para quantificar e interpretar de forma abrangente os fluxos para e do meio ambiente inerente a um processo de produção, dentro dos limites dos dados disponíveis (Camobreco, Duffield, Sheehan, Shapouri, & Graboski, 1998). Os fluxos analisados incluem as emissões atmosféricas, os efluentes hídricos, os resíduos sólidos, a toxicidade, o consumo de energia analisado face ao grau de depleção da mesma e de outros recursos, ao longo de todo o ciclo de vida de um produto ou processo. Um estudo do ciclo de vida pode incluir a produção e extração de matérias-primas, os produtos intermediários de produção, o transporte e distribuição, o uso e uma fase final que poderá ser designada por “fim-de-vida”, onde se poderão considerar processos paralelos de reciclagem, incineração ou deposição em aterro.

A análise de ciclo de vida compreende duas etapas principais: uma fase de Inventário e uma fase de Interpretação. Na primeira quantificam-se e tabelam-se todos os *inputs* e *outputs* de um ciclo de vida, materiais e energéticos. Na fase de interpretação analisam-se os dados recolhidos retirando conclusões sobre benefícios e implicações inerentes a toda a cadeia de ciclo de vida do processo produtivo em estudo, conclusões que permitirão otimizar a tomada de decisão das entidades envolvidas na cadeia produtiva.

Em relação à fase de quantificação de *inputs* e de *outputs*, a metodologia de análise de ciclo de vida pode ser padronizada e, frequentemente, os produtores e auditores de processos de produção assumem o previamente tabelado e legalmente aceite.

A abordagem da etapa de interpretação já implica que se considere uma multiplicidade de factores pelo que é muito mais variada. A análise e interpretação dos dados deverá contribuir para identificar e priorizar oportunidades de prevenção da poluição, de eficiência no consumo de energia, de materiais e dos processos, em todas as etapas do ciclo de vida. Uma vantagem desta metodologia de análise decorre da sua abrangência, dado que permite detectar e calcular o deslocamento de cargas ambientais de uma fase do ciclo de vida para outra (por exemplo, menor consumo de energia durante o uso, conseguido à custa de muito maior consumo de energia de fabricação), ou a partir de um meio para outro (por exemplo, emissões atmosféricas mais baixas ao custo do aumento de resíduos sólidos).

O cálculo dos fluxos do ciclo de vida de um produto ou processo frequentemente é subdividido em fases dado o elevado número de quantificações e cálculos que envolve, facilitando a interpretação dos dados, especialmente quando dois ou mais produtos ou processos são comparados pela metodologia de análise de ciclos de vida.

Contudo salienta-se que o processo de análise de ciclo de vida deve incluir, na fase de interpretação, algumas análises de sensibilidade de modo a permitir avaliar e garantir a robustez

dos resultados e conclusões, dado que os resultados da avaliação de um ciclo de vida são influenciados por um número significativo de suposições e incertezas. Face à importância desta metodologia de análise de sustentabilidade de processos e produtos, várias entidades internacionais têm concebido e publicados documentos orientadores deste processo como por exemplo a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*, *Environmental Protection Agency* ou também em publicações europeias como da *Society of Environmental Toxicology and Chemistry Europe* (1992) ou um estudo realizado por Heijungs em 1992 (Heijungs et al., 1992).

9.1 – Modelo de Ciclos de Vida do Biodiesel de Soja e Colza

Face ao exposto anteriormente evidenciou-se pertinente apresentar as etapas que são analisadas no ciclo de vida do biodiesel produto objecto deste estudo. Na Figura 29 apresenta-se um modelo genérico, mais alargado e pormenorizado, do ciclo de vida do biodiesel de soja mas que, por não corresponder na íntegra ao ciclo de vida do biodiesel produzido na Sovena, se apresenta na Figura 30, o ciclo de vida da produção de biodiesel de soja e colza na Sovena analisado neste estudo.

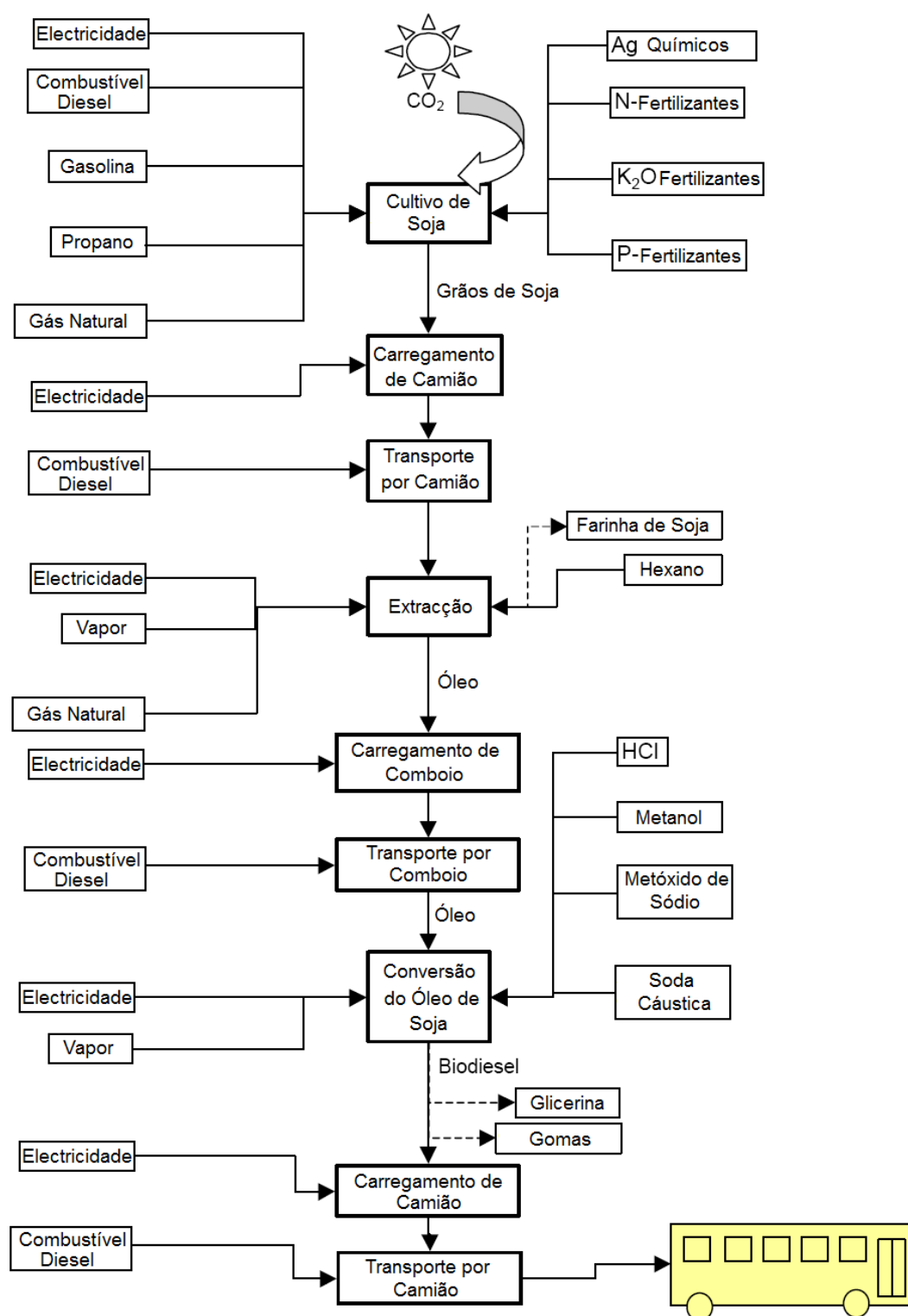


Figura 29. Ciclo de Vida do Biodiesel de Soja (Camobreco et al., 1998).

No presente estudo em que se objectiva calcular as emissões de GEE inerentes à produção de biodiesel da Sovena e avaliar a sua sustentabilidade, analisaram-se as emissões de GEE em todo o ciclo de vida do biodiesel de soja e colza.

Na Figura 30 apresenta-se o modelo de ciclo de vida implementado na unidade industrial Sovena, destacando-se os processos que ocorrem dentro das instalações – extracção, pré-tratamento do óleo bruto e produção de biodiesel, bem como o transporte de matérias-primas subsidiárias. Tal como referido anteriormente também se analisou o ciclo de vida do biodiesel por etapas, nomeadamente Cultivo, Processamento, Transporte e Distribuição, e Uso, subdividindo ainda o Processamento em Extracção, Pré-Tratamento e Transesterificação, para facilitar a análise dos resultados e a comparação destes com o combustível fóssil de referência.

Na sequência destas divisões explicita-se na Figura 30 em que variável da fórmula geral do cálculo das emissões de GEE cada etapa aloca as emissões dela decorrentes na Fórmula de Cálculo 1. Emissões de GEE provenientes da produção e utilização de biocombustíveis (nº1, parte C, anexo V da Directiva RED) (Parlamento Europeu, 2009). Também se sinaliza na figura a redução de emissões associada à produção excedentária de energia eléctrica produzida na co-geração, crédito dedutivo às emissões do processamento.

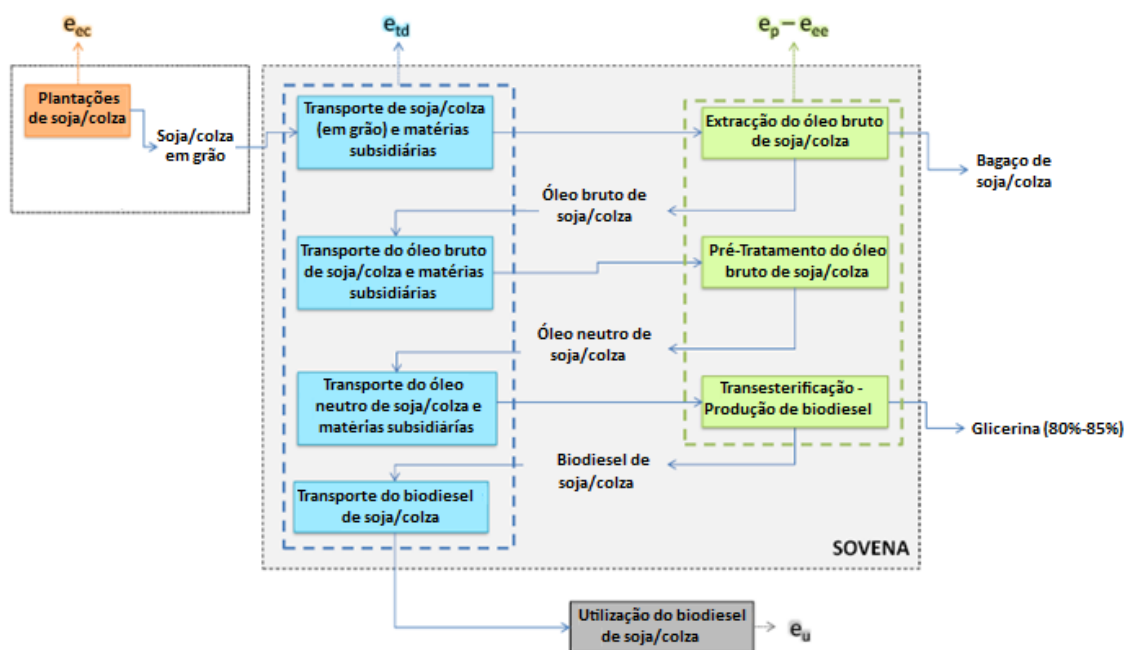


Figura 30. Fluxograma dos Ciclos de Vida dos Biodiesel de Soja e Colza Produzidos na Sovena Oilseeds. Fonte: (Sovena, 2013)

Como será abordado no capítulo seguinte, 10 – Metodologia de Cálculo, neste estudo recorreu-se a valores por defeito legalmente estipulados nas fases de cultivo e transporte, e a valores reais na fase de processamento. Todavia salienta-se que a Sovena já reporta a sua produção com valores reais tanto no cultivo como no transporte e distribuição.

10 – Metodologia de Cálculo

10.1 – Metodologia ISCC Utilizada no Cálculo das Emissões de Gases com Efeito de Estufa

10.1.1 – Emissões provenientes do cultivo de matérias-primas (e_{ec})

As emissões de GEE na etapa de cultivo incluem não só a plantação e colheita da matéria-prima, mas também a produção dos *inputs* necessários ao cultivo, produtos químicos ou não, e devem ser calculadas segundo a seguinte fórmula de cálculo (EM = emissões):

$$e_{ec}' = \frac{EM_{fertilizante} \left[\frac{kg CO_2}{hectare \times ano} \right] + EM_{diesel} \left[\frac{kg CO_2}{hectare \times ano} \right] + EM_{electricidade} \left[\frac{kg CO_2}{hectare \times ano} \right] + EM_{inputs} \left[\frac{kg CO_2}{hectare \times ano} \right]}{rendimento da colheita_{produto principal} \left[\frac{kg colheita}{hectare \times ano} \right]}$$

Fórmula de Cálculo 3. Emissões de GEE provenientes do cultivo de matérias-primas, e_{ec} (ISCC, 2011).

Os produtos principais do cultivo são neste caso as sementes de colza e soja.

Alguns dos elementos intervenientes nesta fase do ciclo de vida que contribuem para a contabilização das emissões, dos quais é necessário extrair informação são (ISCC, 2011):

- Fertilizantes minerais ou orgânicos (com N, P_2O_5 , K_2O , CaO), pesticidas, herbicidas e rodenticidas aplicados no período de cultivo [$kg/(hectare \times ano)$];
- Diesel consumido na exploração agrícola [$l/(hectare \times ano)$];
- Electricidade consumida [$kWh/(hectare \times ano)$];
- Rendimento da colheita do produto principal [$kg/(hectare \times ano)$];
- Rendimento de co-produtos [$kg/(hectare \times ano)$];
- Outros *inputs* usados nesta fase [$kg/(hectare \times ano)$].

Segundo o ISCC, não existem emissões de GEE associadas à produção de resíduos se estes vierem de uma fábrica e não forem produzidos na plantação (ISCC, 2011). Na realidade no cálculo de emissões de GEE, segundo o Anexo II da Comunicação da Comissão Europeia 2010/C 160/02, não devem ser atribuídas emissões a resíduos, detritos de culturas agrícolas e de processamento, na medida em que se considera que as suas emissões são nulas até ao momento da respectiva recolha. Igualmente, quando estas matérias são utilizadas como matérias-primas, começam com taxas de emissão nulas no ponto de recolha (Comissão Europeia, 2010).

Abrindo os componentes da Fórmula de Cálculo 3 em detalhe temos (EF = factor de emissão):

$$EM_{fertilizante} = fertilizante \left[\frac{kg}{hectare \times ano} \right] \times \left(EF_{produção} \left[\frac{kg CO_2}{kg} \right] + EF_{terreno} \left[\frac{kg CO_2}{kg} \right] \right)$$

Fórmula de Cálculo 4. Emissões de GEE provenientes do uso de fertilizantes (ISCC, 2011).

$$EM_{diesel} = diesel \left[\frac{l}{hectare \times ano} \right] \times EF_{diesel} \left[\frac{kg CO_2}{l} \right]$$

Fórmula de Cálculo 5. Emissões de GEE provenientes do uso de diesel (ISCC, 2011).

$$EM_{electricidade} = electricidade \left[\frac{kWh}{hectare \times ano} \right] \times EF_{mix de electricidade regional} \left[\frac{kg CO_2}{kWh} \right]$$

Fórmula de Cálculo 6. Emissões de GEE provenientes do uso de electricidade (ISCC, 2011).

$$EM_{input} = input \left[\frac{kg}{hectare \times ano} \right] \times EF_{input} \left[\frac{kg CO_2}{kg} \right]$$

Fórmula de Cálculo 7. Emissões de GEE provenientes do uso de *inputs* (ISCC, 2011).

Para o cálculo de e_{ec} é necessário consultar os factores de emissão (EF) presentes na "Lista de Factores de Emissão do ISCC" (ISCC, 2011):

- Factor de emissão do diesel [kg CO_{2eq}/l diesel];
- Factor de emissão da produção de fertilizantes [kg CO_{2eq}/kg fertilizante];
- Factor de emissão de gases libertados pelos fertilizantes, especialmente as emissões de N₂O do solo [kg CO_{2eq}/kg de fertilizante];
- Factor de emissão do mix regional de electricidade [kg CO_{2eq}/kWh electricidade].

No âmbito da Directiva RED, não existe uma lista oficial dos factores de emissão. Muitas vezes a literatura sugere valores diferentes para o mesmo factor de emissão ou até mesmo não existe qualquer valor disponível para o *input* em questão. Como tal, e para garantir uma auditoria transparente e fidedigna, o ISCC desenvolveu uma lista de factores de emissão que deve ser usada, sempre que possível, no cálculo das emissões de GEE de acordo com o sistema de certificação ISCC. A "Lista de Factores de Emissão do ISCC" foi desenvolvida com base em leituras realizadas pelo ISCC numa fase-piloto que teve a duração de dois anos, e numa fase operacional em 2010. Tratou-se de uma recolha dos principais factores de emissão em bases de dados como o BioGrace (preferencialmente), Ecolnvent e outras (ISCC, 2011).

Pelo exposto verifica-se que as emissões de GEE do cultivo (e_{ec}) são a contabilização que deverá ser feita e reportada pelo cultivador, em kg CO₂ equivalente/ton de semente até ao momento da venda desta. Esse registo acompanha a semente é o primeiro valor do processo de cálculo de emissões de GEE do ciclo de vida da semente a que se reporta (ISCC, 2011).

No âmbito desta dissertação foi produzida uma ferramenta de cálculo em Excel que permitisse o “Cálculo das Emissões de GEE do Biodiesel de Soja produzido na Sovena” e o “Cálculo das Emissões de GEE do Biodiesel de Colza produzido na Sovena” no presente estudo e para utilização em anos futuros.

No cálculo das emissões de GEE dos ciclos de vida do biodiesel de soja e colza nos anos de 2013 e 2014, objecto deste estudo, e com base na ferramenta anteriormente referida, foi criado um separador para cada etapa do ciclo de vida, onde se explicita a metodologia de cálculo emissões de GEE, podendo recorrer-se a valores reais ou de referência, consoante a opção da Sovena.

A Tabela 5 apresenta os diferentes aspectos a contabilizar no que respeita ao cultivo referente à soja. Em APÊNDICE I – Emissões de Gases com Efeito de Estufa Proveniente do Cultivo de Matérias-Primas: Colza.

Tabela 5. Emissões de GEE Provenientes do Cultivo de Matérias-Primas, e_{ec} .

| e_{ec} - Emissões provenientes do cultivo de matérias-primas | | | |
|---|--|--|--|
| fertilizante (kg/(ha*ano)) | | | |
| $EF_{\text{produção do fertilizante}}$ (kg CO ₂ eq/kg fertilizante) | | $EM_{\text{fertilizante}}$ (kg CO ₂ eq/(ha*ano)) | |
| $EF_{\text{emissões do fertilizante no terreno}}$ (kg CO ₂ eq/kg fertilizante) | | | |
| diesel (l/(ha*ano)) | | EM_{diesel} (kg CO ₂ eq/(ha*ano)) | |
| EF_{diesel} (kg CO ₂ eq/l diesel) | | | |
| electricidade (kWh/(ha*ano)) | | $EM_{\text{electricidade}}$ (kg CO ₂ eq/(ha*ano)) | |
| $EF_{\text{mix de electricidade regional}}$ (kg CO ₂ eq/kWh) | | | |
| input (kg/(ha*ano)) | | EM_{input} (kg CO ₂ eq/(ha*ano)) | |
| EF_{input} (kg CO ₂ eq/kg) | | | |
| rendimento da colheita produto principal (kg/(ha*ano)) | | | |
| e_{ec} (kg CO ₂ eq/kg colheita) | | | |

Explicita-se que neste trabalho de investigação para a dissertação, quer para a soja como para a colza foram utilizados os valores por defeito legalmente discriminados para o cultivo, de 19 g de CO₂ equivalente/MJ de biodiesel de soja e 29 g CO₂ equivalente/MJ de biodiesel de colza, presente na parte D do Anexo V da Directiva RED (2009/28/CE) (Parlamento Europeu, 2009).

Mas com o apertar dos critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis (Artigo 17º da Directiva RED), especificamente reduções de GEE de 35% e 50% até 2016 e 2017, respectivamente, os produtores de biocombustíveis começarão a ter necessidade de recorrer a valores reais para garantir a sustentabilidade da sua produção.

10.1.2 – Contabilização anual das emissões resultantes de alterações do carbono armazenado devido a alterações do uso do solo (e_l)

As alterações do uso de solos que ocorreram após a data de referência de 1 de Janeiro de 2008 devem ser registadas e contabilizadas nos cálculos de e_l . Se a alteração do solo ocorreu antes desta data, e_l não precisa de ser calculado (ISCC, 2011; Parlamento Europeu, 2009).

Segundo o Anexo II da Comunicação da Comissão Europeia 2010/C 160/02 a alteração do uso do solo deve ser entendida como a alteração do coberto do solo nas seis categorias utilizadas pelo PIAC (terrenos florestais, terrenos de pastagem, terras de cultivo, zonas húmidas, povoações e outros tipos de terrenos), para além de uma sétima categoria de culturas perenes, ou seja, culturas plurianuais que não são normalmente colhidas numa base anual. Nas terras de cultivo estão incluídos os pousios, solos colocados em repouso por um ou vários anos antes de serem novamente cultivados.

Esta orientação explicita o que deve ser considerado uma alteração de uso do solo. Por exemplo, a transformação de um terreno de pastagem em terra de cultivo constitui uma alteração do uso do solo, ao passo que a substituição de uma cultura por outra, por exemplo milho ser substituído por colza, não o é. Numa outra perspectiva, a mudança nas actividades de gestão, nas práticas de mobilização dos solos ou nas práticas de aplicação de estrume não são consideradas alterações do uso do solo (Comissão Europeia, 2010).

A contabilização anual das emissões provenientes da flutuação da quantidade de carbono armazenado no solo provocadas por alteração do uso do solo, e_l , deve ser feita dividindo as emissões totais em quantidades iguais ao longo de 20 anos, segundo a Fórmula de Cálculo 8 (ISCC, 2011):

$$e_l' = \frac{CS_R \left[\frac{kg\ C}{hectare} \right] - CS_A \left[\frac{kg\ C}{hectare} \right]}{\text{rendimento da colheita}_{\text{produto principal}} \left[\frac{kg}{hectare \times \text{ano}} \right] \times 20 [\text{anos}]} \times 3,664$$

Fórmula de Cálculo 8. Emissões de GEE resultantes de alterações do carbono armazenado devidas a alterações do uso do solo, e_l (ISCC, 2011).

Onde de acordo com a Directiva RED (2009/28/CE) (Parlamento Europeu, 2009):

e_l - Contabilização anual das emissões provenientes de alterações do carbono armazenado devidas a alterações do uso do solo, medidas em massa de CO_2 equivalente por unidade de energia produzida por biocombustíveis;

CS_R - Carbono armazenado por unidade de superfície associado ao uso de referência do solo antes da conversão do terreno em terra agrícola, medido em massa de carbono por unidade de superfície, incluindo solo e vegetação. O uso de referência do solo reporta-se a Janeiro de 2008, ou 20 anos antes da obtenção da matéria-prima, caso esta seja posterior a 2008;

CS_A - Carbono armazenado por unidade de superfície associado ao uso efectivo do solo após a conversão do terreno em terra agrícola, medido em massa de carbono por unidade de superfície, incluindo solo e vegetação. Nos casos em que o carbono esteja armazenado durante mais de um ano, o valor atribuído ao CS_A é o do armazenamento estimado por unidade de superfície passados vinte anos ou quando a cultura atingir o estado de maturação, consoante o que ocorrer primeiro.

O factor 3,664 corresponde do quociente entre a massa molecular do CO₂ (44,010 g/mol) e a massa molecular do carbono (12,011 g/mol) (Parlamento Europeu, 2009).

De referir uma ligeira diferença entre a Fórmula de Cálculo 8 e a respectiva expressão que consta no nº7 da parte C do Anexo V da Directiva RED (2009/28/CE) relativamente à contabilização das emissões de e_i. Tal deve-se ao facto do sistema ISCC e a sua metodologia não contabilizarem uma bonificação de 29 g CO₂ equivalente/MJ para os biocombustíveis cuja biomassa é obtida a partir de solos degradados reconstituídos. Para a atribuição desta bonificação, o terreno em questão não poderia estar a ser explorado para fins agrícolas ou outros em Janeiro de 2008 e simultaneamente teria que se enquadrar numa das categorias (Parlamento Europeu, 2009):

- Terreno gravemente degradado, incluindo terrenos anteriormente explorados para fins agrícolas¹⁰;
- Terreno fortemente contaminado¹¹.

A bonificação de 29 g CO₂ equivalente/MJ é aplicável durante um período no máximo de 10 anos a partir da data de conversão do terreno em exploração agrícola, desde que um aumento regular do teor de carbono, bem como uma redução da degradação ou contaminação, sejam asseguradas (Parlamento Europeu, 2009). O sistema ISCC ainda não inclui esta opção de contabilização por aguardar futuras considerações e definições finais sobre solos degradados por parte da Comissão Europeia.

É importante referir que não existem valores por defeito tabelados na Directiva RED (2009/28/CE) para as emissões provenientes de alteração do carbono armazenado no solo devido a alteração do uso do solo (e_i). Se forem usados valores por defeito na parte do cultivo, como neste trabalho de investigação, deve contabilizar-se sempre e_i. Todavia, se se provar que não tenha ocorrido qualquer alteração do uso dos solos após a data de referência, ou seja, se os terrenos forem

¹⁰ Define-se como “Terrenos gravemente degradados”, terrenos que durante um período importante foram fortemente salinizados ou cujo teor em matérias orgânicas é particularmente reduzido e que sofreram uma erosão severa (nº9 da parte C do Anexo V da Directiva RED 2009/28/CE).

¹¹ Define-se como: “Terrenos fortemente contaminados”, terrenos inaptos para o cultivo de géneros alimentícios ou de alimentos para animais devido à contaminação do solo (nº9 da parte C do Anexo V da Directiva RED 2009/28/CE).

desde 1 de Janeiro de 2008 considerados terras de cultivo e tal não tenha mudado até à actualidade, considera-se $e_i=0$. Apenas neste caso se pode então usar os valores por defeito para a contabilização das emissões na parte do cultivo, visto estes não terem em conta as emissões provenientes da alteração de solos (ISCC, 2011). Este princípio foi assumido no contexto deste trabalho de dissertação, ou seja, assumiu-se nos cálculos $e_i=0$.

Com recurso às ferramentas de “Cálculo das Emissões de GEE do Biodiesel de Soja produzido na Sovena” e “Cálculo das Emissões de GEE do Biodiesel de Colza produzido na Sovena” foi criado um separador que possibilita o cálculo de emissões de GEE de e_i para uso futuro por parte de Grupo Sovena como se pode consultar na Tabela 6. Em APÊNDICE II – Contabilização anual das Emissões Provenientes de Alterações do Carbono Armazenado Devidas a Alterações do Uso dos Solos: Colza.

Tabela 6 – Contabilização Anual das Emissões Provenientes de Alterações do Carbono Armazenado Devidas a Alterações do Uso dos Solos, e_i .

| e_i - Contabilização anual das emissões provenientes de alterações do carbono armazenado devidas a alterações do uso dos solos | |
|--|----------|
| rendimento da colheita <small>produto principal (kg/(ha*ano))</small> | |
| CS_R (kg C/ha) | |
| CS_A (kg C/ha) | |
| e_i (kg C/kg) | 0 |

10.1.3 – Emissões do combustível na utilização (e_u)

As variáveis que afectam as emissões provenientes do cultivo incluem as sementes, o combustível, o fertilizante, o pesticida, o rendimento e as emissões de óxido nitroso (N_2O) do terreno. De acordo com o Anexo II da Comunicação da Comissão Europeia 2010/C 160/02 (Comissão Europeia, 2010), o ciclo curto de absorção de dióxido de carbono nas plantas não é considerado neste contexto na Fórmula de Cálculo 3. Emissões de GEE provenientes do cultivo de matérias-primas, eec (ISCC, 2011). Logo, para equilibrar esta não-contabilização da captura de CO_2 no cultivo de matérias-primas, a Directiva RED 2009/28/CE decretou que as emissões do combustível na utilização são consideradas nulas para os biocombustíveis e biolíquidos, ou seja, $e_u=0$ (nº13 da parte C do Anexo V) (Parlamento Europeu, 2009).

10.1.4 – Emissões do processamento (e_p)

De acordo com o nº11, parte C do Anexo V da Directiva RED (2009/28/CE) as emissões do processamento, e_p , incluem não só as emissões do próprio processamento como também de resíduos e perdas e da produção de produtos químicos ou produtos utilizados no processamento (Parlamento Europeu, 2009). Segundo a metodologia ISCC deve calcular-se as emissões da electricidade consumida, do calor produzido, da produção dos *inputs* utilizados e de águas residuais produzidas, ou sejam, águas cuja qualidade foi afectada antropogenicamente por terem sido usadas no processo (*waste water*). O cálculo deve basear-se na Fórmula de Cálculo 9 (EM = emissões) (ISCC, 2011):

$$e_p' = \frac{EM_{electricidade consumida} \left[\frac{kg CO_2}{ano} \right] + EM_{calor produzido} \left[\frac{kg CO_2}{ano} \right] + EM_{inputs} \left[\frac{kg CO_2}{ano} \right] + EM_{waste water} \left[\frac{kg CO_2}{ano} \right]}{rendimento_{produto principal} \left[\frac{kg produto principal}{ano} \right]}$$

Fórmula de Cálculo 9. Emissões de GEE resultantes do processamento, e_p (ISCC, 2011).

Componentes da Fórmula de Cálculo 9 em detalhe (EF = factor de emissão):

$$EM_{electricidade consumida} = electricidade \left[\frac{kWh}{ano} \right] \times EF_{mix de electricidade regional} \left[\frac{kg CO_2}{kWh} \right]$$

Fórmula de Cálculo 10. Emissões de GEE provenientes da electricidade consumida (ISCC, 2011).

$$EM_{calor produzido} = combustível consumido \left[\frac{kg}{ano} \right] \times EF_{combustível} \left[\frac{kg CO_2}{kg} \right]$$

Fórmula de Cálculo 11. Emissões de GEE provenientes do calor produzido (ISCC, 2011).

$$EM_{inputs} = inputs \left[\frac{kg}{ano} \right] \times EF_{inputs} \left[\frac{kg CO_2}{kg} \right]$$

Fórmula de Cálculo 12. Emissões de GEE provenientes do uso de *inputs* no processo (ISCC, 2011).

$$EM_{waste water} = waste water \left[\frac{l}{ano} \right] \times EF_{waste water} \left[\frac{kg CO_2}{l} \right]$$

Fórmula de Cálculo 13. Emissões de GEE provenientes da produção de águas residuais (ISCC, 2011).

A Sovena Oilseeds contabiliza as emissões desta fase do ciclo de vida do biodiesel de soja e colza com base em valores reais visto todo o processamento se passar dentro das suas instalações. Para obter as menores emissões possíveis nesta etapa de processamento, os seguintes dados devem e foram extraídos de documentos e plataformas operacionais internas da fábrica (ISCC, 2011):

- Consumo de eletricidade [kWh/ano] - Consumo de energia elétrica total anual;
- Produção de calor [kg/ano] - Consumo de combustível anual para a produção de calor e vapor, por exemplo óleo de aquecimento ou resíduos de cultivo e, neste caso, gás natural;
- Consumo de *inputs*, matérias-primas e matérias químicas [kg/ano] - Consumos anuais;
- Produção anual do produto principal e co-produtos [kg/ano];
- Quantidade de águas residuais [l/ano] - Montante anual de águas residuais ou outros resíduos. Neste trabalho assumidas como nulas.

Seguidamente apresentam-se as tabelas-tipo (*table template*) de consumos de matérias-primas e subsidiárias e produções de produtos e co-produtos discriminadas para as três etapas do processo decorrente na Sovena (extração, pré-tratamento, transesterificação). A Tabela 7, Tabela 8, Tabela 9, reportam-se à soja 2013 e foram extraídas da ferramenta de cálculo “*Cálculo das Emissões de GEE do Biodiesel de Soja produzido na Sovena*” em 2013, inseridas no corpo deste texto a título de exemplo. Contudo, cada plataforma de cálculo produzida foi construída segundo o modelo destas tabelas adaptadas ao tipo de oleaginosa e ano em questão e constam no APÊNDICE III – Consumos e Produções da Etapa de Extração do Óleo de Colza na Sovena.

Tabela 7. Consumos e Produções da Etapa de Extração do Óleo de Soja na Sovena em 2013.

| Emissões de GEE Sovena - ISCC | | | |
|---|--|---------------|----------------|
| Matérias-primas e subsidiárias. Produtos e co-produtos. | | | |
| | | 2013 (ano) | |
| | | Mássico (ton) | Rendimento (%) |
| Extração de óleo de Soja | Consumo de grãos de Soja (anual) | | |
| | Produção de óleo bruto de Soja (anual) | | |
| | Produção de farinha de Soja e cascas (anual) | | |
| | Consumo de solvente - Hexano (anual) | | |
| | Consumo de Energia Eléctrica (kWh) | | |
| | Consumo de Gás Natural (m ³) | | |
| | Consumo de Vapor (ton) | | |
| | | | |

Inputs Específicos do processo de produção da Sovena

Cálculos Confidenciais

Tabela 8. Consumos e Produções da Etapa de Pré-Tratamento do Óleo de Soja na Sovena em 2013.

| Emissões de GEE Sovena - ISCC | | |
|---|---|----------------|
| Matérias-primas e subsidiárias. Produtos e co-produtos. | | |
| | 2013 (ano) | |
| | Mássico (ton) | Rendimento (%) |
| Pré-Tratamento de óleo de Soja | Consumo de óleo bruto de Soja (anual) | |
| | Produção de óleo de Soja neutro (anual) | |
| | Produção de destilados: ácidos gordos (anual) | |
| | Produção de massas (anual) | |
| | Consumo de areias clarificantes (anual) | |
| | Consumo de ácido fosfórico (anual) | |
| | Consumo de ácido cítrico (anual) | |
| | Consumo de soda caustica (anual) | |
| | Consumo de Energia Eléctrica (kWh) | |
| | Consumo de Gás Natural (m ³) | |
| | Consumo de Vapor (ton) | |
| | | |

Inputs Específicos do processo de produção da Sovena

Cálculos Confidenciais

Tabela 9. Consumos e Produções da Etapa de Transesterificação do Óleo de Soja na Sovena em 2013.

| Emissões de GEE Sovena - ISCC | | |
|---|---|----------------|
| Matérias-primas e subsidiárias. Produtos e co-produtos. | | |
| | 2013 (ano) | |
| | Mássico (ton) | Rendimento (%) |
| Produção de Biodiesel | Consumo total de óleos vegetais refinados e neutralizados (anual) | |
| | Produção de Biodiesel (anual) | |
| | Produção de Glicerina (anual) | |
| | Consumo de metanol (anual) | |
| | Consumo de metilato de sódio (anual) | |
| | Consumo de ácido clorídrico (anual) | |
| | Consumo de soda cáustica (anual) | |
| | Consumo de ácido cítrico (anual) | |
| | Consumo de antioxidante (anual) | |
| | Consumo ácido sulfúrico (anual) | |
| | Consumo de Energia Eléctrica (kWh) | |
| | Consumo Gás Natural (m ³) | |
| | Consumo de Vapor (ton) | |

Inputs Específicos do processo de produção da Sovena

Cálculos Confidenciais

Para o cálculo de e_p é necessário consultar os seguintes fatores de emissão na "Lista de Factores de Emissão do ISCC" (ISCC, 2011):

- Factor de emissão do combustível [kg CO_{2eq}/kg];
- Factor de emissão de águas residuais ou outros resíduos [kg CO_{2eq}/l];
- Factor de emissão do combustível utilizado para produção de electricidade [kg CO_{2eq}/kWh] ou vapor na co-geração [kg CO_{2eq}/kg];
- Factores de emissão para os diversos *inputs* [kg CO_{2eq}/kg].

Todos os dados utilizados neste trabalho para a etapa de processamento foram valores reais recolhidos *on-site* (documentos/plataformas operacionais internas) nas instalações da Sovena Oilseeds mantendo a precisão e rigor dos cálculos ao mesmo tempo que o menor registo possível de emissões comparativamente com os valores por defeito legalmente disponíveis para o processamento.

O cálculo das emissões de GEE do processamento corresponde ao somatório das emissões inerentes a cada uma das etapas que o compõem, extracção, pré-tratamento e transesterificação, calculadas em separado. Logo, foram calculados um e_p para a extracção, um e_p para o pré-tratamento e um e_p para a transesterificação. Cada valor de e_p encontra-se nas unidades de emissões de CO₂ por massa do produto principal da respectiva etapa (por exemplo, emissões de kg CO_{2equivalente}/ton óleo cru de soja obtido na etapa de extracção).

Porém, se co-produtos produzidos em alguma etapa de processamento forem elegíveis de alocação de emissões, a atribuição de emissões para o produto principal e co-produtos tem lugar na respectiva etapa da cadeia de abastecimento em que ambos foram obtidos (Comissão Europeia, 2010). No contexto deste trabalho o anteriormente referido aplicou-se nas etapas de extracção e transesterificação onde o valor das emissões de GEE reportado na contabilização de emissões é pós-alocação. O método de alocação é desenvolvido mais à frente nesta metodologia no capítulo 10.1.10 – *Alocação energética com base no Poder Calorífico Inferior (PCI) do produto principal e co-produtos*.

Apresentam-se as tabelas-tipo (*table template*) do cálculo das emissões de GEE no processamento para cada uma das três etapas do processo decorrente na Sovena. A Tabela 12, Tabela 14, Tabela 16 foram construídas com os dados recolhidos na Tabela 7, Tabela 8, Tabela 9, respectivamente. Esta contabilização de emissões no processamento reporta-se à soja 2013 e as tabelas foram extraídas da ferramenta de cálculo “*Cálculo das Emissões de GEE do Biodiesel de Soja produzido na Sovena*” aqui mostradas a título de exemplo. Contudo, cada plataforma de cálculo produzida foi construída segundo o modelo destas tabelas adaptadas ao tipo de oleaginosa e ano em questão (APÊNDICE III – Consumos e Produções da Etapa de Extracção do Óleo de Colza na Sovena, APÊNDICE IV – Consumos e Produções da Etapa de Pré-Tratamento do Óleo de Colza na Sovena, APÊNDICE V – Consumos e Produções da Etapa de Transesterificação do Óleo de Colza na Sovena, APÊNDICE VI – Emissões de GEE Resultantes

da Etapa de Extracção do Óleo de Colza no Processamento na Sovena, APÊNDICE VII – Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Pré-Tratamento do Óleo de Colza no Processamento na Sovena, APÊNDICE VIII – Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Transesterificação do Óleo de Colza no Processamento na Sovena).

No cálculo das emissões de processamento associadas ao consumo de vapor foi considerada a entalpia do vapor sobreaquecido a 14 bar de 2855,5 kJ/kg extraída da Tabela de Propriedades Termodinâmicas da Água (Harvey, 1998) presente no ANEXO 2 – Tabela de Propriedades Termodinâmicas da Água. Já para as contabilizações de emissões associadas ao consumo de gás natural recorreu-se a informações presentes na Tabela 10 do Despacho nº17313/2008 publicado em Diário da República, onde se publicam os factores de conversão dos diferentes combustíveis no âmbito do Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) (Diário da República, 2008):

Tabela 10. Propriedades do Gás Natural (Diário da República, 2008).

| Propriedades do Gás Natural | | Fonte |
|--------------------------------|--------|------------------------|
| Densidade (kg/m ³) | 0,8404 | Despacho nº 17313/2008 |
| PCI (MJ/kg) | 45,1 | |

Seguidamente analisam-se separadamente as considerações feitas para o cálculo das emissões de cada etapa do processamento.

Para a etapa de extracção, os factores de emissão considerados encontram-se na Tabela 11 e a contabilização final de emissões de GEE produzidas, alocadas energeticamente, do óleo bruto/cru obtido na etapa de extracção, na Tabela 12. Em APÊNDICE VI – Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Extracção do Óleo de Colza no Processamento na Sovena.

Tabela 11. Factores de Emissão para o Cálculo das Emissões de GEE no Processamento na Etapa de Extracção.

| | |
|---|----------|
| $EF_{\text{gás natural} \rightarrow \text{calor (co-geração)}}$ (kg CO_{2eq}/kg) | 4,06 |
| $EF_{\text{gás natural} \rightarrow \text{electricidade (co-geração)}}$ (kg CO_{2eq}/kWh) | 0,32 |
| $EF_{\text{combustível (gás natural)}}$ (kg CO_{2eq}/kg) | 3,16 |
| EF_{hexano} (kg CO_{2eq}/kg) | 3,63 |
| $EF_{\text{waste water}}$ (kg CO_{2eq}/l) | 1,40E-04 |

Tabela 12. Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Extração no Processamento, e_p extração.

| e_p - Emissões do processamento na Extração | | | | |
|---|--|------|--|--|
| Cogeração | calor (cogeração) (kg/ano) | | EM calor consumido (kg CO₂eq/ano) | |
| | EF gás natural->calor (co-geração) (kg CO₂eq/kg) | 4,06 | | |
| | electricidade (cogeração) (kWh/ano) | | EM electricidade consumida (kg CO₂eq/ano) | |
| | EF gás natural->electricidade (co-geração) (kg CO₂eq/kWh) | 0,32 | | |
| | combustível consumido para fazer calor (kg/ano) | | EM calor produzido (kg CO₂eq/ano) | |
| | EF combustível (gás natural) (kg CO₂eq/kg) | 3,16 | | |
| | inputs hexano (kg/ano) | | EM inputs (kg CO₂eq/ano) | |
| | EF hexano (kg CO₂eq/kg) | 3,63 | | |
| | waste water (l/ano) | | EM waste water (kg CO₂eq/ano) | |
| | EF waste water (kg CO₂eq/l) | 0,00 | | |
| | rendimento produto principal (kg/ano) | | | |
| | e_p (kg CO₂eq/kg óleo cru de soja) | | | |
| | e_p (kg CO₂eq/ton óleo cru de soja) | | | |
| Com alocação | e_p (kg CO₂eq/kg óleo cru de soja) | | Factor de Alocação Energética do óleo cru de soja (%) | |
| | e_p (kg CO₂eq/ton óleo cru de soja) | | | |
| | Dados/Cálculos Confidenciais | | | |

Na etapa subsequente, o pré-tratamento, os factores de emissão considerados encontram-se na Tabela 13 e a contabilização final de emissões de GEE produzidas, do óleo neutro obtido na etapa de pré-tratamento, na Tabela 14. Em APÊNDICE VII – Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Pré-Tratamento do Óleo de Colza no Processamento na Sovena.

Tabela 13. Factores de Emissão para o Cálculo das Emissões de GEE no Processamento na Etapa de Pré-Tratamento.

| | |
|--|----------|
| EF gás natural->calor (co-geração) (kg CO₂eq/kg) | 4,06 |
| EF gás natural->electricidade (co-geração) (kg CO₂eq/kWh) | 0,32 |
| EF combustível (gás natural) (kg CO₂eq/kg) | 3,16 |
| EF areias clarificantes (kg CO₂eq/kg) | 0,20 |
| EF ácido fosfórico (kg CO₂eq/kg) | 3,01 |
| EF soda cáustica (kg CO₂eq/kg) | 0,47 |
| EF ácido cítrico (kg CO₂eq/kg) | 0,96 |
| EF waste water (kg CO₂eq/l) | 1,40E-04 |

Tabela 14. Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Pré-Tratamento no Processamento, e_p pré-tratamento.

| e _p - Emissões do processamento no Pré-Tratamento | | | | |
|--|---|------|--|-------------------------------------|
| Cogeração | calor (cogeração) (kg/ano) | | | |
| | EF _{gás natural->calor (co-geração)} (kg CO2eq/kg) | 4,06 | EM _{calor consumido} (kg CO2eq/ano) | |
| | electricidade (cogeração) (kWh/ano) | | | |
| | EF _{gás natural->electricidade (co-geração)} (kg CO2eq/kWh) | 0,32 | EM _{electricidade consumida} (kg CO2eq/ano) | |
| | combustível consumido para fazer calor (kg/ano) | | | |
| | EF _{combustível (gás natural)} (kg CO2eq/kg) | 3,16 | EM _{calor produzido} (kg CO2eq/ano) | |
| | inputs _{areias clarificantes} (kg/ano) | | | EM _{inputs} (kg CO2eq/ano) |
| | EF _{areias clarificantes} (kg CO2eq/kg) | 0,20 | | |
| | inputs _{ácido fosfórico} (kg/ano) | | | |
| | EF _{ácido fosfórico} (kg CO2eq/kg) | 3,01 | | |
| | inputs _{soda cáustica} (kg/ano) | | | |
| | EF _{soda cáustica} (kg CO2eq/kg) | 0,47 | | |
| | inputs _{ácido cítrico} (kg/ano) | | | |
| | EF _{ácido cítrico} (kg CO2eq/kg) | 0,96 | | |
| waste water (l/ano) | | | EM _{waste water} (kg CO2eq/ano) | |
| EF _{waste water} (kg CO2eq/l) | 0,00 | | | |
| rendimento _{produto principal} (kg/ano) | | | | |
| e _p (kg CO2eq/kg óleo neutro de soja) | | | | |
| e _p (kg CO2eq/ton óleo neutro de soja) | | | | |
| | Dados/Cálculos Confidenciais | | | |

Por fim, na etapa de transesterificação, os factores de emissão considerados encontram-se na Tabela 15 e a contabilização final de emissões de GEE produzidas, alocadas energeticamente, do biodiesel obtido na etapa de transesterificação, na Tabela 16. Em APÊNDICE VIII – Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Transesterificação do Óleo de Colza no Processamento na Sovena.

Tabela 15. Factores de Emissão para o Cálculo das Emissões de GEE no Processamento na Etapa de Transesterificação.

| | |
|---|----------|
| EF gás natural->calor (co-geração) (kg CO _{2eq} /kg) | 4,06 |
| EF gás natural->electricidade (co-geração) (kg CO _{2eq} /kWh) | 0,32 |
| EF combustível (gás natural) (kg CO _{2eq} /kg) | 3,16 |
| EF metanol (kg CO _{2eq} /kg) | 1,25 |
| EF metilato de sódio (kg CO _{2eq} /kg) | 4,89 |
| EF ácido clorídrico (kg CO _{2eq} /kg) | 0,75 |
| EF soda cáustica (kg CO _{2eq} /kg) | 0,47 |
| EF ácido cítrico (kg CO _{2eq} /kg) | 0,96 |
| EF antioxidante (kg CO _{2eq} /kg) | 10,00 |
| EF ácido sulfúrico (kg CO _{2eq} /kg) | 0,21 |
| EF waste water (kg CO _{2eq} /l) | 1,40E-04 |

Tabela 16. Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Transesterificação no Processamento, e_p transesterificação.

| e_p - Emissões do processamento na Transesterificação | | | | |
|---|--|------|---|--|
| Cogeração | calor (cogeração) (kg/ano) | | $EM_{\text{calor consumido}}$ (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF gás natural->calor (co-geração) (kg CO ₂ eq/kg) | 4,06 | | |
| | electricidade (cogeração) (kWh/ano) | | $EM_{\text{electricidade consumida}}$ (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF gás natural->electricidade (co-geração) (kg CO ₂ eq/kWh) | 0,32 | | |
| | combustível consumido para fazer calor (kg/ano) | | $EM_{\text{calor produzido}}$ (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF combustível (gás natural) (kg CO ₂ eq/kg) | 3,16 | | |
| | inputs metanol (kg/ano) | | EM_{inputs} (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF metanol (kg CO ₂ eq/kg) | 1,25 | | |
| | inputs metilato de sódio (kg/ano) | | | |
| | EF metilato de sódio (kg CO ₂ eq/kg) | 4,89 | | |
| | inputs ácido clorídrico (kg/ano) | | | |
| | EF ácido clorídrico (kg CO ₂ eq/kg) | 0,75 | | |
| | inputs soda cáustica (kg/ano) | | | |
| | EF soda cáustica (kg CO ₂ eq/kg) | 0,47 | | |
| | inputs ácido cítrico (kg/ano) | | | |
| | EF ácido cítrico (kg CO ₂ eq/kg) | 0,96 | | |
| | inputs antioxidante (kg/ano) | | | |
| | EF antioxidante (kg CO ₂ eq/kg) | 10 | | |
| | inputs ácido sulfúrico (kg/ano) | | | |
| | EF ácido sulfúrico (kg CO ₂ eq/kg) | 0,21 | | |
| | waste water (l/ano) | | $EM_{\text{waste water}}$ (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF waste water (kg CO ₂ /l) | 0,00 | | |
| rendimento produto principal (kg/ano) | | | | |
| e_p (kg CO ₂ eq/kg biodiesel) | | | | |
| e_p (kg CO ₂ eq/ton biodiesel) | | | | |
| Com alocação | e_p (kg CO ₂ eq/kg biodiesel) | | Factor de Alocação Energética do Biodiesel (%) | |
| | e_p (kg CO ₂ eq/ton biodiesel) | | | |

Dados/Cálculos Confidenciais

No final do processamento, o respectivo elemento da cadeia de abastecimento passa a informação de emissão de GEE em kg CO₂ equivalente/ ton de produto juntamente com o produto em si.

10.1.5 – Emissões do transporte e distribuição (e_{td})

Conforme consta no nº12 da parte C do Anexo V da Directiva RED (2009/28/CE) as emissões de GEE derivadas do transporte e distribuição (e_{td}) englobam as emissões provenientes do transporte de matérias-primas e materiais semiacabados, como sejam sementes de colza e soja ou produtos químicos, e distribuição dos materiais acabados (biodiesel) (Parlamento Europeu, 2009).

Segundo a metodologia de cálculo ISCC, todos os elementos intervenientes na cadeia de abastecimento calculam as emissões no que toca ao transporte de biomassa de acordo com a Fórmula de Cálculo 14 (ISCC, 2011):

$$e_{td} \left[\frac{kg \ CO_2}{kg} \right] = \frac{\left(d_{carregado} [km] \times K_{carregado} \left[\frac{l}{km} \right] + d_{vazio} [km] \times K_{vazio} \left[\frac{l}{km} \right] \right) \times EF_{combustível} \left[\frac{kg \ CO_2}{l} \right]}{m_{produto \ intermédio} [kg]}$$

Fórmula de Cálculo 14. Emissões de GEE provenientes do transporte e distribuição, e_{td} (ISCC, 2011).

De referir que as emissões de transporte na etapa de cultivo e colheita das matérias-primas não são tidas em conta na metodologia ISCC (ISCC, 2011; Parlamento Europeu, 2009).

Para se obter e_{td} , precisa de recolher-se informação sobre:

- Qual/Quais o(s) tipo(s) de transporte utilizado(s);
- Quantidade de biomassa transportada;
- A distância percorrida (km) pelo meio de transporte vazio e cheio. Em situações em que o transporte não vai/retorna vazio unicamente se contabiliza a distância que a biomassa em questão percorre até chegar ao próximo elemento interveniente da cadeia de abastecimento.

Na “*Lista de Factores de Emissão do ISCC*” deverão ser recolhidos os factores de emissão (EF) (ISCC, 2011):

- $EF_{combustível}$ – Factor de emissão do combustível;
- $K_{carregado}$ – Consumo por km de combustível do respectivo meio de transporte quando carregado com carga [l/km];
- K_{vazio} – Consumo por km de combustível do respectivo meio de transporte quando sem carga [l/km].

Foram estudadas as emissões associadas ao transporte e distribuição de biodiesel produzido na Sovena sendo criado um separador que possibilita o cálculo de emissões de GEE de e_{td} para uso do Grupo Sovena, como se pode consultar na Tabela 17, na Tabela 18 e na Tabela 19, extraídas das ferramentas de “*Cálculo das Emissões de GEE do Biodiesel de Soja produzido na Sovena*” e “*Cálculo das Emissões de GEE do Biodiesel de Colza produzido na Sovena*”. Cada uma das tabelas reporta as emissões para cada meio de transporte utilizado pela Sovena Oilseeds (APÊNDICE IX – Emissões de GEE Provenientes do Transporte por Camião: Colza, APÊNDICE X

– Emissões de GEE Provenientes do Transporte por Navio: Colza, APÊNDICE XI – Emissões de GEE Provenientes do Transporte por Comboio: Colza).

Na Sovena Oilseeds estudaram-se os meios de transporte rodoviário (camião), marítimo (navio) e férreo (comboio) mediante a fonte ou destino da matéria transportada. Assim, foram calculados e_{td} para cada tipo de transporte, dado representarem diferentes distâncias percorridas, peso da carga transportada, combustíveis utilizados e recorrer a factores de emissão diferentes.

Quando o meio de transporte é o camião foram usados os rácios de consumo de combustível de 0,49 l/km e 0,25 l/km de camião carregado e descarregado de mercadoria, respectivamente, para além do factor de emissão do diesel (3,14 kg CO_{2eq}/l), extraídos da “*Lista de Factores de Emissão do ISCC*” (ISCC, 2011):

Tabela 17. Emissões de GEE Provenientes do Transporte por Camião, $e_{td \text{ camião}}$.

| e_{td} - Emissões do transporte e distribuição - Camião | |
|---|------|
| Camião | |
| <i>distância carregado (km)</i> | |
| <i>K_{carregado} (l/km)</i> | 0,49 |
| <i>distância descarregado (km)</i> | |
| <i>K_{descarregado} (l/km)</i> | 0,25 |
| <i>EF_{combustível} (kg CO_{2eq}/l)</i> | 3,14 |
| <i>m=quantidade de produto transportado (ton)</i> | |
| $e_{td \text{ camião}}$ (kg CO_{2eq}/kg) | |
| $e_{td \text{ camião}}$ (kg CO_{2eq}/ton) | |

Para o transporte por navio usou-se o rácio de consumo de combustível de 0,00208 l/ton.km e o factor de emissão do fuelóleo (3,42 kg CO_{2eq}/l) extraídos da “*Lista de Factores de Emissão do ISCC*” (ISCC, 2011):

Tabela 18. Emissões de GEE Provenientes do Transporte por Navio, $e_{td \text{ navio}}$.

| e_{td} - Emissões do transporte e distribuição - Navio | |
|--|---------|
| Navio | |
| <i>distância carregado (km)</i> | |
| $K_{\text{carregado}}$ (l/ton km) | 0,00208 |
| <i>distância descarregado (km)</i> | 0 |
| $K_{\text{descarregado}}$ (l/km) | 0 |
| $EF_{\text{combustível}}$ (kg CO _{2eq} /l) | 3,42 |
| $e_{td \text{ navio}}$ (kg CO _{2eq} /kg) | |
| $e_{td \text{ navio}}$ (kg CO _{2eq} /ton) | |

Por fim, para o transporte por comboio usou-se o rácio de consumo de combustível de 0,21 MJ/ton.km e o factor de emissão da electricidade (0,13056 kg CO_{2eq}/MJ), extraídos da “*Lista de Factores de Emissão do ISCC*” mas com posterior conversão unitária do segundo factor (ISCC, 2011):

Tabela 19. Emissões de GEE Provenientes do Transporte por Comboio, $e_{td \text{ comboio}}$.

| e_{td} - Emissões do transporte e distribuição - Comboio | |
|---|-------------|
| Comboio | |
| <i>distância carregado (km)</i> | |
| $K_{\text{carregado}}$ (MJ/ton km) | 0,21 |
| <i>distância descarregado (km)</i> | 0 |
| $K_{\text{descarregado}}$ (l/km) | 0 |
| $EF_{\text{combustível}}$ (kg CO _{2eq} /MJ)=Mix EU/Factor de Conversão | |
| Mix EU (kg CO _{2eq} /kWh) | 0,47 |
| Factor de conversão | 1kWh=3,6 MJ |
| $EF_{\text{combustível}}$ (kg CO _{2eq} /MJ) | 0,13056 |
| $e_{td \text{ comboio}}$ (kg CO _{2eq} /kg) | |
| $e_{td \text{ comboio}}$ (kg CO _{2eq} /ton) | |

Todavia, no que respeita a este trabalho de investigação para a dissertação, quer para a soja como para a colza foram utilizados os valores por defeito definidos legalmente de emissões de GEE para transporte e distribuição de 1 g CO_{2eq}/MJ de biodiesel de colza e 13 g CO_{2eq}/MJ de biodiesel de soja, presente na parte D do Anexo V da Directiva RED (2009/28/CE) (Parlamento Europeu, 2009).

No caso do biodiesel produzido na Sovena Oilseeds, as emissões de transporte e distribuição provêm quase na sua totalidade do transporte das sementes de oleaginosas dos mais variados países até à fábrica em Almada. Comparativamente, as emissões decorrentes do transporte de matérias-primas e materiais semiacabados nos processos de extracção, pré-tratamento e transesterificação são muito menores. Além disso, quase todo o biodiesel produzido na Sovena serve para abastecimento do mercado nacional de produção de combustíveis (Galp, Repsol, BP, CEPSA) representando curtas distâncias de deslocação e consequentemente menores emissões.

A contabilização das emissões provenientes do transporte é sempre documentada e incluída na contabilização geral das emissões de GEE pelo elemento da cadeia de abastecimento que recebe o produto (ISCC, 2011).

10.1.6 – Redução de emissões resultante da captura e substituição de carbono (e_{ccr})

De acordo com o nº15 da parte C do Anexo V da Directiva RED (2009/28/CE), a redução de emissões resultante da captura e substituição de carbono, e_{ccr} , é limitada às emissões evitadas graças à captura de CO₂ cujo carbono provenha da biomassa, e que seja usado para substituir o CO₂ derivado de energia fóssil utilizada em produtos e serviços comerciais (Parlamento Europeu, 2009). No contexto deste trabalho esta redução não foi tida em conta, assumindo-se $e_{ccr}=0$.

10.1.7 – Redução de emissões resultante da captura e fixação de carbono e armazenamento geológico de carbono (e_{ccs})

O cálculo de e_{ccs} , segundo o nº14 da parte C do Anexo V da Directiva RED (2009/28/CE), a redução de emissões resultante da captura e armazenamento geológico de carbono, e_{ccs} , que ainda não tenha sido contabilizada nas emissões de processamento (e_p), é limitada às emissões evitadas graças à captura e fixação do CO₂ emitido, directamente relacionado com as etapas de extracção, transporte, processamento e distribuição de combustível (Parlamento Europeu, 2009). Nesta dissertação assumiu-se $e_{ccs}=0$.

10.1.8 – Redução de emissões resultante da acumulação de carbono no solo através de gestão agrícola melhorada (e_{sca})

A redução de emissões provenientes da acumulação de carbono no solo mediante uma “melhoria da gestão agrícola” refere-se às práticas (Comissão Europeia, 2010):

- Passagem a uma mobilização reduzida ou nula dos solos;
- Melhoria das rotações das culturas e/ou das culturas de cobertura, incluindo gestão dos detritos de culturas;
- Melhoria da gestão dos fertilizantes e do estrume;
- Utilização de correctivos do solo (por exemplo compostos químicos).

A redução das emissões (g COeq/MJ) pode ser calculada utilizando a Fórmula de Cálculo 8, substituindo o factor 20 do denominador pelo período de cultivo das culturas em causa expresso em anos.

Esta redução das emissões é aceite caso se comprove que o teor de carbono no solo aumentou, ou caso sejam apresentadas provas que permitem prever esse aumento, durante o período em que as matérias-primas em causa foram cultivadas. Segundo a Comunicação da Comissão 2010/C 160/02, as medições do teor de carbono no solo poderão constituir esse elemento de prova, mediante uma primeira medição antes do início do cultivo e medições ulteriores, a intervalos periódicos de diversos anos. O aumento do teor de carbono seria estimado através de uma base científica pertinente até os resultados da segunda medição estarem disponíveis. (Comissão Europeia, 2010).

Contudo, para este trabalho não foram contabilizadas estas reduções, definindo $e_{sca}=0$.

10.1.9 – Redução de emissões resultante da produção excedentária de electricidade na co-geração (e_{ee})

A redução de emissões relacionada com a produção excedentária de energia eléctrica através da co-geração, quando esta consome ou combustíveis fósseis, ou bioenergia que não seja um co-produto do mesmo processo, ou resíduos de culturas agrícolas mesmo sendo um co-produto do mesmo processo, é calculada através da Fórmula de Cálculo 15 (ISCC, 2011):

$$e_{ee}' = \frac{\text{electricidade excedentária} \left[\frac{kWh}{ano} \right] \times EF_{combustivel} \left[\frac{kg CO_2}{kWh} \right]}{\text{rendimento}_{produto principal} \left[\frac{kg}{ano} \right]}$$

Fórmula de Cálculo 15. Redução de emissões resultante da produção excedentária de electricidade na co-geração, e_{ee} (ISCC, 2011).

A co-geração consiste na geração sequencial ou simultânea de múltiplas formas de energia útil, geralmente mecânica e térmica, num sistema único e integrado. Um sistema de co-geração envolve uma série de componentes individuais configurados num todo integrado: um motor primário térmico, um gerador, um recuperador de calor e respectivas interligações eléctricas.

O motor primário costuma ser o equipamento que identifica o tipo de co-geração em questão. Motores primários neste tipo de sistemas incluem motores de combustão interna, turbinas de combustão interna ou de gás, turbinas de vapor, micro-turbinas e células de combustível. Estes equipamentos são capazes de queimar uma larga variedade de combustíveis, incluindo gás natural, carvão, petróleo e combustíveis alternativos para a produção de energia mecânica. Embora a energia mecânica obtida seja essencialmente utilizada para o gerador produzir electricidade, esta também pode ser usada para impulsionar equipamentos rotativos, como compressores, bombas e ventiladores. A energia térmica obtida pode ser usada por sua vez para produzir vapor, água quente, ar quente para secagem ou água para arrefecimento do processo (United Nations Environment Programme, 2006).

Os principais benefícios da co-geração são (United Nations Environment Programme, 2006):

- Aumento da eficiência na conversão de energia e seu consequente uso.
Na realidade, uma central de co-geração necessita de apenas $\frac{3}{4}$ da energia primária necessária em comparação com sistemas de produção de electricidade e calor em separado. Esta redução de consumo de combustíveis fósseis é a principal razão no panorama ambiental, visto a combustão do combustível apresentar maiores taxas de eficiência ao mesmo tempo que menores emissões, particularmente de CO₂, para a produção da mesma quantidade de output;
- Oportunidade de caminhar para uma forma de produção de electricidade mais descentralizada, onde instalações são concebidas para satisfazer as necessidades locais, aumentando a eficiência e reduzindo as perdas na transmissão de energia entre zonas distantes;
- Redução nos custos no fornecimento de calor para uso industrial, comercial e doméstico aumentando a competitividade no sector;
- Aumento da diversidade de formas de obtenção de energia dentro de uma unidade industrial promovendo a liberalização do mercado energético.

Existem vários tipos de co-geração e diferentes formas de os classificar. No caso em questão, a co-geração da Sovena Oilseeds é responsável por uma produção combinada de electricidade e vapor de água através de um sistema em que o motor primário é uma turbina de combustão interna de gás natural. A combustão do gás natural dentro da turbina irá provocar o movimento da mesma, sendo a energia cinética da turbina que, ao encontrar-se conectada a um gerador, produz energia eléctrica. É importante referir que apesar de ambas as utilidades serem do interesse da unidade industrial, é a energia eléctrica o principal produto de interesse da Sovena por questões económicas.

Simultaneamente os gases libertados na combustão do gás natural na turbina, e adicionalmente o gás natural no sistema de pós-combustão, cujo objectivo é aumentar a capacidade de produção

de vapor, irão aquecer uma caldeira recuperativa onde se produz vapor sobreaquecido, a cerca de 220°C e 14 bar, para ser usado no processo como fonte de calor. A caldeira apresenta uma capacidade de produção de vapor de água de aproximadamente 30 toneladas por hora. Este sistema de fornecimento de calor na fábrica é um sistema fechado onde a Sovena faz recuperação de destilados não sendo necessário recorrer a quantidades acrescidas de água (Figura 31).

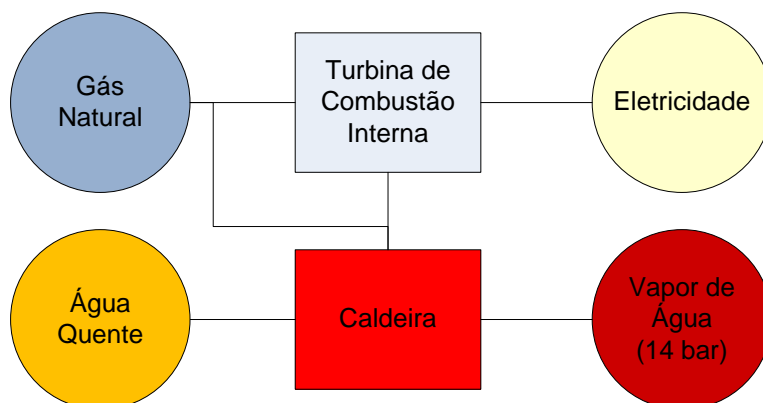


Figura 31. Esquema genérico do funcionamento da co-geração da Sovena Oilseeds.

Resumindo, o sistema de co-geração na Sovena Oilseeds funciona a gás natural para produzir vapor de água e energia eléctrica. O vapor de água serve de fonte de calor nas secções do processo em que seja necessário uma subida de temperatura e que esta seja facilmente atingida utilizando este bem, evitando o recurso a combustíveis fósseis que acarretam maiores custos e maiores emissões. Poder-se-á afirmar que a fábrica é autossuficiente em termos energéticos pois a electricidade consumida é inferior à quantidade produzida na co-geração. Todavia, e por imposição legislativa, a electricidade produzida na co-geração é enviada para a rede eléctrica nacional. A Sovena posteriormente compra a electricidade necessária ao funcionamento da instalação fabril mas com vantagem económica expressa num preço acordado, abaixo do preço normal de consumo de electricidade para uma instalação fabril. Esta estratégia também é vantajosa para a companhia Energias de Portugal (EDP) visto a electricidade excedentária produzida na co-geração poder ser “creditada” na rede eléctrica.

A diferença entre a electricidade produzida na co-geração e a consumida no processo é então considerada a electricidade excedentária, a que corresponde um crédito de emissões de GEE que deve ser deduzido das emissões resultantes de processamento ($e_p - e_{ee}$) (ISCC, 2011).

A quantidade de redução de emissões de GEE a partir da electricidade excedentária é igual à quantidade de emissões provenientes da produção de uma quantidade igual de energia eléctrica numa central eléctrica que funcione a partir do mesmo tipo de combustível que o usado na co-geração. Este método de substituição é unicamente usado para o co-produto electricidade

excedente, visto que para todos os outros co-produtos do processo se recorre ao método de alocação energética, baseado nos valores de poder calorífico inferior (PCI) do produto principal e restantes co-produtos (ISCC, 2011).

Para o cálculo do e_{ee} são necessários os seguintes dados (ISCC, 2011):

- Electricidade excedente [kWh/ano] - montante anual de electricidade produzida numa instalação de co-geração interna, mais tarde enviada para a rede externa;
- Tipo de combustível utilizado na central de co-geração;
- Rendimento anual do produto principal [kg/ano];
- Tipo de unidade de co-geração - neste caso, de produção combinada de calor e energia funcionando a gás natural.

Neste cálculo foi utilizado o factor de emissão (EF) do gás natural, de 0,43 kg CO_{2eq}/kWh para o tipo de unidade de co-geração em questão consultando a “*Lista de Factores de Emissão do ISCC*” (ISCC, 2011).

Esta redução de emissões na Sovena é calculada anualmente independentemente da oleaginosa em estudo sendo o mesmo e_{ee} tanto para a soja como a colza nesse ano. De referir que a redução de e_{ee} associada à produção excedentária de electricidade na co-geração apenas pode ser feita uma vez em todos produtos comercializados pela Sovena.

Subtraindo ao total de energia eléctrica produzida na co-geração num certo ano a soma de todos os consumos de electricidade no processamento da soja e colza na Sovena, obtém-se a energia excedentária. Por sua vez o rendimento do produto principal é a soma dos produtos principais obtidos em cada etapa do processamento.

Neste trabalho foi então produzido uma folha de cálculo anual da “*Redução de Emissões da Electricidade Excedente produzida na Co-geração (e_{ee})*”, para uso da Sovena Oilseeds, estudando-se no contexto deste trabalho as reduções de e_{ee} para os anos de 2013 e 2014, como se pode consultar na Tabela 20 referente à redução de emissões proveniente da electricidade excedentária produzida na Sovena em 2013 a título de exemplo. Em APÊNDICE XII – Redução de Emissões de GEE Resultantes da Produção Excedentária de Electricidade no Co-geração na Sovena: Colza.

Tabela 20. Redução de Emissões de GEE Resultantes da Produção Excedentária de Electricidade na Co-geração em 2013, e_{ee} .

| e_{ee} - Redução de Emissões da Electricidade Excedente produzida na Cogeração (eee) 2013 | | |
|---|---------------------------------|---|
| Unidade de Co-geração | | |
| Combustível Utilizado | Produção de Electricidade (kWh) | Produção de Calor (GJ) - Vapor de água a 14 bar |
| Tipo | | |
| Gás Natural | | |
| | Produto Principal (kg/ano) | Consumo de Electricidade (kWh/ano) |
| Óleo bruto de Colza (Extracção) | | |
| Óleo de Colza neutro (Pré-Tratamento) | | |
| Óleo bruto de Soja (Extracção) | | |
| Óleo de Soja neutro (Pré-Tratamento) | | |
| Biodiesel (Transesterificação) | | |
| | Total (kg/ano) | Total (kWh/ano) |
| | | |

| | |
|--|--|
| <div></div> Inputs Específicos do processo de produção da Sovera | Electricidade Produzida na Cogeração (kWh) |
| <div></div> Cálculos Confidenciais | Consumo Total de Electricidade (kWh) |
| | Total de Electricidade Excedentária (kWh) |

| | |
|--|------|
| Electricidade Excedentária (kWh/ano) | |
| $EF_{combustível}$ (kg CO ₂ /kWh) | 0,43 |
| $rendimento_{produto\ principal}$ (kg/ano) | |

| | |
|------------------------------------|--|
| e_{ee} (kg CO ₂ /kg) | |
| e_{ee} (kg CO ₂ /ton) | |

10.1.10 – Alocação energética com base no Poder Calorífico Inferior (PCI) do produto principal e co-produtos

Uma alocação de emissões de GEE ocorre em cada etapa do processo em que para além do produto principal, produto intermédio que é transmitido para a etapa seguinte na cadeia de produção ou o próprio biocombustível na última etapa, se produz também co-produtos comercializáveis, fazendo-se uma distribuição do total de emissões dessa etapa entre ambos.

Neste trabalho, para o processamento, realizaram-se alocações na etapa de extracção onde se obtém óleo bruto/cru (produto principal) e farinhas/bagaço (co-produto), e na etapa de transesterificação onde o produto principal é o biodiesel e o co-produto a glicerina. A electricidade excedente também é vista como um co-produto, todavia encontra-se dispensada desta alocação visto as suas emissões associadas serem calculadas segundo o método de substituição como vimos anteriormente.

Este estudo de sensibilidade pode ser feito segundo diferentes aspectos, por exemplo através de uma alocação mássica, energética ou económica. Graças à multifuncionalidade do ciclo de vida dos biocombustíveis, a Directiva RED (2009/28/CE) e o ISCC definem a utilização da alocação energética (“método de atribuição de energia”), ou seja em proporção com o valor de Poder Calorífico Inferior (PCI) expresso em megajoule por quilograma (MJ/kg). De facto, segundo o nº17 da parte C do Anexo V da Directiva RED (2009/28/CE), se o processo de produção de combustível produzir em combinação, o combustível para o qual se calculam as emissões e um ou mais produtos diferentes (co-produtos), as emissões de GEE são repartidas entre o combustível ou o seu produto intermédio e os co-produtos, proporcionalmente ao seu teor energético, determinado pelo poder calorífico inferior no caso dos co-produtos com excepção da electricidade (Parlamento Europeu, 2009). O poder calorífico inferior é definido como a quantidade máxima de calor libertada pela combustão completa de uma unidade em massa de combustível, quando queimado completamente a uma temperatura, permanecendo os produtos de combustão na fase gasosa (sem condensação do vapor de água) (Nhambiu, 2013).

Os valores de PCI utilizados são os PCI do produto original, PCI_{PO} (com água) e não o PCI_{PS} , do produto seco (sem água). Como o teor de água nos produtos originais é variável, calculou-se o PCI_{PO} com base num teor de água médio (base húmida) e no PCI_{PS} , através da Fórmula de Cálculo 16, extraída do BioGrace (BioGrace, 2013):

$$PCI_{PO} = PCI_{PS} \times (1 - \%H_2O_{BH}) - \%H_2O_{BH} \times 2,44$$

Fórmula de Cálculo 16. PCI do produto original com base no PCI do produto seco (BioGrace, 2013).

Onde:

PCI_{PO} – Poder calorífico inferior do produto original (produto com água) (MJ/kg);

PCI_{PS} – Poder calorífico inferior do produto seco (produto sem água) (MJ/kg);

$\%H_2O_{BH}$ – Teor de água médio, medido em base húmida;

2,44 – Calor latente de vaporização da água a 25°C (MJ/kg).

Neste trabalho todos os valores de PCI_{PS} foram extraídos do BioGrace-JEC (BioGrace, 2013) tanto no estudo da soja como no estudo da colza com excepção do valor de PCI_{PS} da farinha de soja, valor esse que não consta na plataforma, obrigando a consulta em literaturas complementares (Fehrenbach, Gärtner, Reinhardt, & Rettenmaier, 2007).


Os teores de água da glicerina e das farinhas de soja e colza, humidade média nos anos de 2013 e 2014, provêm de leituras feitas internamente na Sovena Oilseeds e que constam numa base de

dados da empresa. Para produtos com um teor de água próximo de 0% como no caso do óleo bruto e biodiesel assume-se que o PCI do produto original é igual ao PCI do produto seco, $PCI_{PO}=PCI_{PS}$.

As duas tabelas-tipo seguintes (*table template*) apresentam o cálculo do poder calorífico inferior (PCI) original dos produtos da cadeia de produção do biodiesel de soja (Tabela 21) e do biodiesel de colza (Tabela 22) com base no poder calorífico inferior do produto seco e no teor de água (base húmida) nas etapas de extracção e transesterificação. Ambas as tabelas foram extraídas das ferramentas de cálculo “Cálculo das Emissões de GEE do Biodiesel de Soja produzido na Sovena” e “Cálculo das Emissões de GEE do Biodiesel de Colza produzido na Sovena” em 2013 a título de exemplo. Contudo, cada plataforma de cálculo produzida foi construída segundo o modelo destas tabelas adaptadas ao tipo de oleaginosa e ano em questão.

Tabela 21. Poder Calorífico Inferior (PCI) e Teor de Humidade dos Produtos da Cadeia de Produção do Biodiesel de Soja Produzidos na Sovena em 2013.

| Fase do processamento | Co-Produto | Produto Seco | | Produto Original | | |
|-----------------------|--------------------|-------------------|------------------------|---------------------------------|--------|-------------------|
| | | PCI _{PS} | | Teor de água (base húmida) | | PCI _{PO} |
| | | MJ/kg | Fonte | %H ₂ O _{BH} | Fonte | |
| Extracção | Farinha de soja | 19 | Fehrenbach et al, 2007 | % | Sovena | |
| | Óleo bruto de soja | 36,6 | BioGrace | 0,0% | | 36,6 |
| Transesterificação | Biodiesel | 37,2 | | 0,0% | | 37,2 |
| | Glicerina | 16,0 | | % | | |

 Inputs Específicos do processo de produção da Sovena




 Cálculos Confidenciais

Tabela 22. Poder Calorífico Inferior (PCI) e Teor de Humidade dos Produtos da Cadeia de Produção do Biodiesel de Colza Produzidos na Sovena em 2013.

| Fase do processamento | Co-Produto | Produto Seco | | Produto Original | | |
|-----------------------|---------------------|-------------------|----------|---------------------------------|--------|-------------------|
| | | PCI _{PS} | | Teor de água (base húmida) | | PCI _{PO} |
| | | MJ/kg | Fonte | %H ₂ O _{BH} | Fonte | |
| Extracção | Farinha de colza | 18,7 | Biograce | % | Sovena | |
| | Óleo bruto de colza | 36,0 | | 0,0% | | 36,0 |
| Transesterificação | Biodiesel | 37,2 | | 0,0% | | 37,2 |
| | Glicerina | 16,0 | | % | | |

 Inputs Específicos do processo de produção da Sovena

 Cálculos Confidenciais

Com base nos valores de PCI_{PO} calcula-se então o factor de alocação energética para o produto principal e para cada um dos co-produtos nas etapas de extracção e transesterificação, segundo a Fórmula de Cálculo 17 da metodologia ISCC (ISCC, 2011):

Factor de alocação energética

$$= \frac{\text{Conteúdo energético}_{\text{produto principal}} [MJ]}{\text{Conteúdo energético}_{\text{produto principal}} [MJ] + \text{Conteúdo energético}_{\text{co-produto}} [MJ]}$$

Fórmula de Cálculo 17. Factor de alocação energética (ISCC, 2011).

Onde:

$$\text{Conteúdo energético}_{\text{produto principal}} = \text{rendimento}_{\text{produto principal}} \left[\frac{kg}{ano} \right] \times PCI_{PO_{\text{produto principal}}} \left[\frac{MJ}{kg} \right]$$

Fórmula de Cálculo 18. Conteúdo energético do produto principal (ISCC, 2011).

$$\text{Conteúdo energético}_{\text{co-produto}} = \text{rendimento}_{\text{co-produto}} \left[\frac{kg}{ano} \right] \times PCI_{PO_{\text{co-produto}}} \left[\frac{MJ}{kg} \right]$$

Fórmula de Cálculo 19. Conteúdo energético dos co-produtos (ISCC, 2011).

A tabela-tipo (*table template*) Tabela 23 representa o cálculo dos factores de alocação energética para as etapas de extracção e transesterificação na produção do biodiesel de soja na Sovena em 2013 com base nas fórmulas de cálculo anteriores. A tabela foi extraída da ferramenta de cálculo “Cálculo das Emissões de GEE do Biodiesel de Soja produzido na Sovena” em 2013 a título de exemplo. Contudo, cada plataforma de cálculo produzida foi construída segundo o modelo desta tabela adaptada ao tipo de oleaginosa e ano em questão (APÊNDICE XIII – Cálculo dos Factores de Alocação Energética dos Produtos da Cadeia de Produção de Biodiesel de Colza na Sovena).

Tabela 23. Cálculo dos Factores de Alocação Energética dos Produtos da Cadeia de Produção de Biodiesel de Soja na Sovena em 2013.

| Factor de alocação energética | |
|--|-------------------------------------|
| Extracção | |
| <i>Rendimento óleo bruto de soja (produto)</i> | |
| <i>Rendimento da farinha de soja (co-produto)</i> | |
| | MJ |
| <i>Conteúdo de energia do óleo bruto de soja (produto)</i> | |
| <i>Conteúdo de energia da farinha de soja (co-produto)</i> | |
| <i>Factor de alocação energética óleo bruto de soja (produto)</i> | |
| <i>Factor de alocação energética da farinha de soja (co-produto)</i> | |
| Total | |
| Transesterificação | |
| <i>Rendimento biodiesel (produto)</i> | |
| <i>Rendimento glicerina (co-produto)</i> | |
| | MJ |
| <i>Conteúdo de energia do biodiesel (produto)</i> | |
| <i>Conteúdo de energia da glicerina (co-produto)</i> | |
| <i>Factor de alocação energética biodiesel (produto)</i> | |
| <i>Factor de alocação energética glicerina (co-produto)</i> | |
| Total | |
| | Dados/Cálculos Confidenciais |

Concluindo, as emissões de GEE totais de uma etapa são então alocadas entre o produto principal e os co-produtos através do factor de alocação. Na extracção foi usado o factor de alocação do óleo bruto e na transesterificação o factor de alocação do biodiesel segundo a seguinte Fórmula de Cálculo 20 (ISCC, 2011):

$$e'_{alocação} = \sum Emissões\ GEE \times Factor\ de\ alocação$$

Fórmula de Cálculo 20. Emissões de GEE associadas ao produto com base no seu factor de alocação (ISCC, 2011).

11 – Tratamento, Apresentação e Discussão de Resultados

11.1 – Comparação das Emissões de GEE do Biodiesel de Soja e Colza com o Combustível Fóssil de Referência

Com base nas metodologias anteriormente apresentadas de forma detalhada, calcularam-se as emissões finais GEE nos ciclos de vida do biodiesel de soja e do biodiesel de colza produzidos na Sovena em 2013 e 2014, com base em valores reais no que respeita aos processos que ocorrem na Sovena, e com valores de referência definidos legalmente, no que respeita às emissões decorrentes do cultivo (e_{ec}), transporte e distribuição de produtos (e_{td}). Os valores finais registados para a Sovena encontram-se na Tabela 24.

Tabela 24. Total de Emissões de GEE do Biodiesel de Soja e do Biodiesel de Colza Produzidos na Sovena em 2013 e 2014.

| <i>g CO_{2eq}/MJ biodiesel</i> | |
|--|---------------|
| E_B Sovena Soja 2013 | 44,03* |
| E_B Sovena Soja 2014 | 44,76* |
| E_B Sovena Colza 2013 | 41,28* |
| E_B Sovena Colza 2014 | 42,02* |

*Valores considerando alocação energética

Nas figuras seguintes (Figura 32 e Figura 33) apresentam-se as emissões de GEE para a Sovena relativamente aos ciclos de vida do biodiesel de soja e do biodiesel de colza nos anos de 2013 e 2014, considerando valores reais no que respeita às emissões na fase de processamento (e_p) (extração, pré-tratamento e transesterificação) e redução de emissões associada à produção excedentária de electricidade (e_{ee}) na co-geração, processos que ocorrem na unidade industrial Sovena, e valores por defeito definidos legalmente, no que respeita às emissões decorrentes do cultivo (e_{ec}), transporte e distribuição de produtos (e_{td}). Nestas figuras também se apresentam as emissões de GEE inerentes à produção de biodiesel das sementes em estudo com base nos valores por defeito referenciados na Directiva RED (2009/28/CE) e explicitam-se as reduções das emissões de GEE inerentes à produção dos biodiesel de soja e colza em relação às emissões da produção do combustível fóssil de referência.

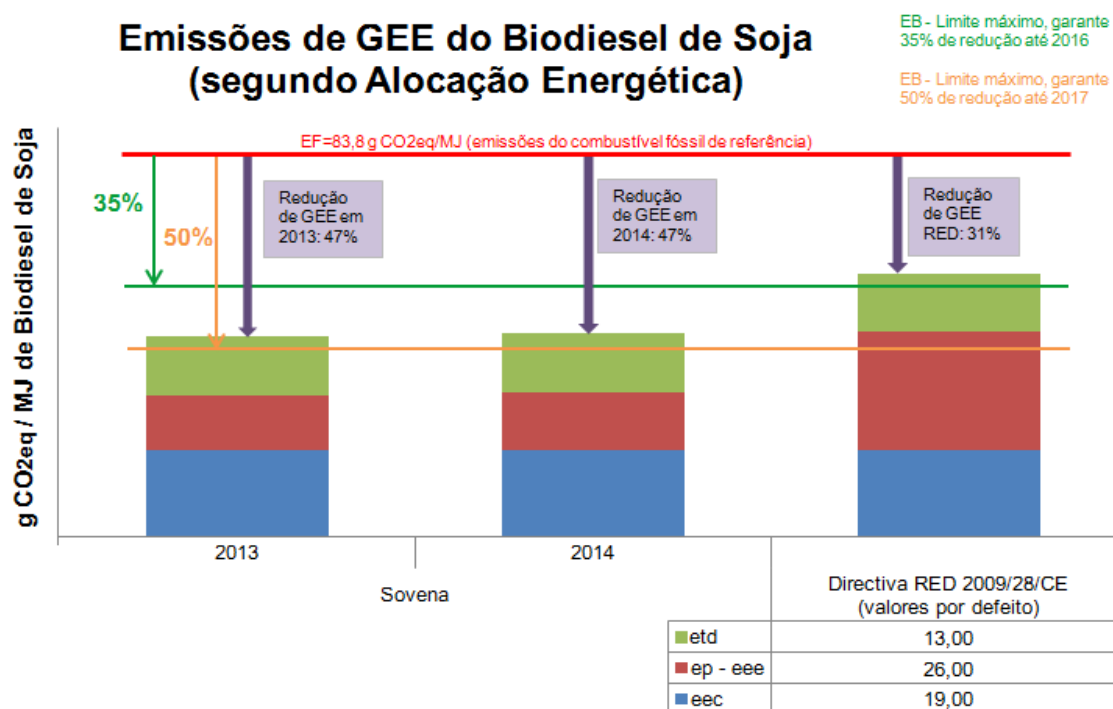


Figura 32. Comparação das Emissões de GEE do Biodiesel de Soja produzido em 2013 e 2014 na Sovena Oilseeds com as emissões por defeito associadas ao mesmo biocombustível que constam na Directiva RED (2009/28/CE) e respectivas reduções relativamente ao combustível fóssil de referência.

Em relação à soja constatou-se uma redução das emissões de GEE relativamente ao combustível fóssil de referência ($E_F = 83,8 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{MJ}$) quantificada em aproximadamente 47% nos dois anos.

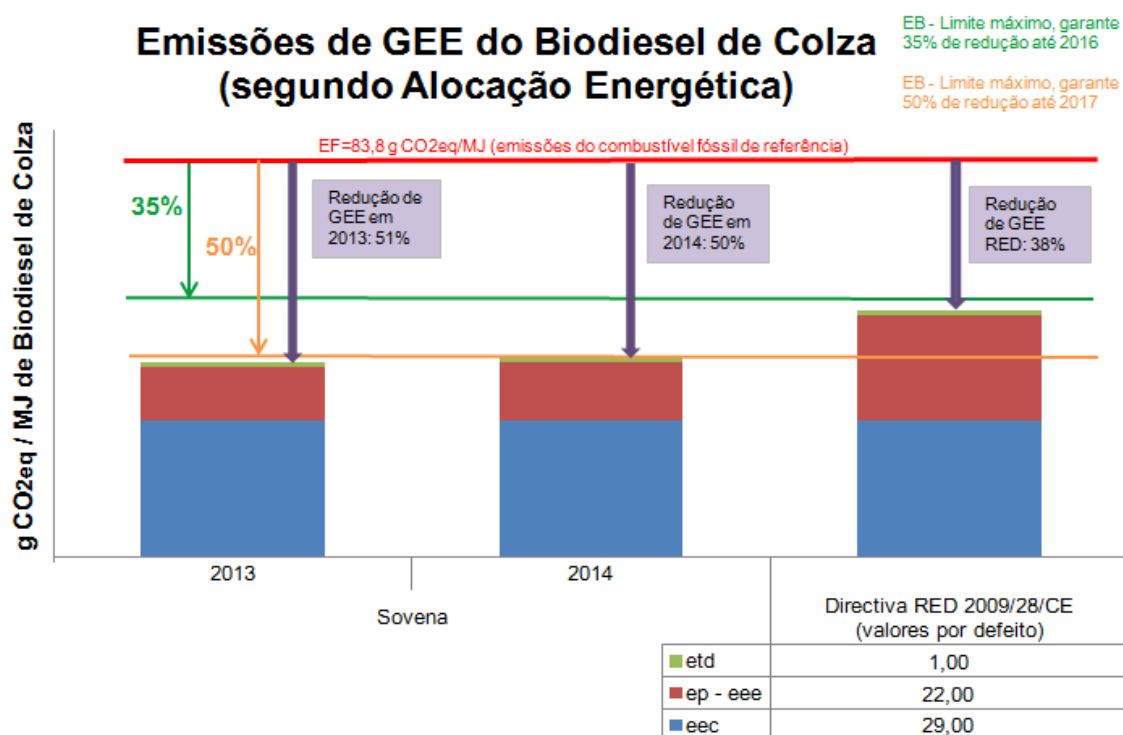


Figura 33. Comparação das Emissões de GEE do Biodiesel de Colza produzido em 2013 e 2014 na Sovena Oilseeds com as emissões por defeito associadas ao mesmo biocombustível que constam na Directiva RED (2009/28/CE) e respectivas reduções relativamente ao combustível fóssil de referência.

Em relação à colza a redução das emissões GEE em relação ao combustível fóssil de referência foi de aproximadamente 51% e 50% em 2013 e 2014, respectivamente.

Na análise comparativa das emissões finais da produção de biodiesel de soja e colza na Sovena com as emissões por defeito apresentados na Directiva RED (2009/28/CE) constatou-se que a produção da Sovena em termos de emissões GEE se encontra muito abaixo dos valores por defeito legalmente estipulados e expressos na Directiva RED, tanto para a soja (redução de 13,97 g CO_{2eq}/MJ biodiesel e de 13,24 g CO_{2eq}/MJ biodiesel respectivamente em 2013 e 2014), como para a colza (redução de 10,72 g CO_{2eq}/MJ biodiesel e de 9,98 g CO_{2eq}/MJ biodiesel em 2013 e 2014 respectivamente), como seria de esperar.

Analisando as figuras relativamente à contribuição de cada uma das fases do ciclo de vida para as emissões totais de GEE de ambos os biocombustíveis em estudo produzidos na Sovena, verificou-se que as emissões decorrentes do processamento menos a redução proveniente da produção excedentária de electricidade que ocorre dentro da instalação ($e_p - e_{ee}$), representam decréscimos superiores a 50% no caso da soja e superiores a 45% no que se refere à colza, quando comparadas com as emissões por defeito consideradas na Directiva RED: 26 g CO_{2eq}/MJ de biodiesel de soja e 22 g CO_{2eq}/MJ de biodiesel de colza. Estas reduções poderão decorrer de uma boa gestão das matérias e utilidades usadas e de um controlo permanente da eficiência do processo produtivo, visando um alto rendimento em termos de matérias finais de valor comercial e

baixos rácios de emissões de GEE para as quantidades produzidas, objecto deste estudo. Para além disso verificou-se que as emissões inerentes ao processamento do biodiesel variam pouco entre si e nos dois anos em análise.

O contributo do processamento nas emissões do biodiesel produzido na Sovena será analisado com mais pormenor adiante.

No caso do biodiesel de soja, especificamente em relação à produção da Sovena em 2013 e 2014, verificou-se que a etapa de cultivo é aquela que mais contribui para as emissões, e neste estudo os cálculos são com valores por defeito da Directiva RED. Mas quando se analisa só os valores desta directiva para a produção de biodiesel de soja, constata-se que é a etapa de processamento a que mais emissões de GEE faz, seguida da de cultivo e por fim a de transporte e distribuição.

Já para a colza, e segundo cálculos também recorrendo exclusivamente a valores por defeito, a situação muda um pouco sendo a etapa de cultivo a que mais contribui para as emissões de GEE, seguida da de processamento e depois pela distribuição e transporte, esta última de uma ordem de grandeza muito diferente das outras duas etapas (1 g CO_{2eq}/MJ de biodiesel de colza). Salienta-se também que mais de metade das emissões do biodiesel de colza provêm do cultivo de sementes.

Utilizando apenas valores por defeito em todas as etapas constatou-se um total de emissões de GEE de 58 g CO_{2eq}/MJ para o biodiesel de soja e de 52 g CO_{2eq}/MJ para o biodiesel de colza, o que representa uma redução de 31% e 38% respectivamente, quando comparadas com as emissões do combustível fóssil de referência. Mas, se nos reportarmos à produção de biodiesel de soja e colza na Sovena, estas reduções passam a cerca de 47% para a soja e aproximadamente 50% para a colza, significativamente menores.

Deste modo, a redução mínima exigida actualmente na legislação de 35% de emissões de GEE totais do biodiesel, a que corresponde um máximo de 54,5 g CO_{2eq}/MJ em comparação com o combustível fóssil de referência, é garantida para o biodiesel de soja e colza produzidos na Sovena até ao final de 2016. No caso da colza, até Dezembro de 2016 poder-se-á até usar apenas valores por defeito no cálculo das emissões, dado que, mesmo nessa situação, o biocombustível cumprirá os limites de emissões permitidos, possibilitando a certificação de sustentabilidade. O mesmo não acontece para a soja, dado que teremos de calcular sempre os valores reais para cumprir as metas exigidas legalmente.

Depois de 1 de Janeiro de 2017 passa a ser exigida uma redução mínima de 50% das emissões de GEE, correspondente a um máximo de 41,9 g CO_{2eq}/MJ em comparação com o combustível fóssil de referência. Para as emissões do biodiesel de colza produzido na Sovena continuarem a garantir a sustentabilidade do biodiesel produzido, já será necessário recorrer a valores reais pelo menos na etapa de processamento. O mesmo não se verifica com as emissões do biodiesel de soja que, mesmo recorrendo a valores reais no processamento, já compromete a sua

sustentabilidade e consequente certificação de produção. Será necessário recorrer a valores reais em mais etapas da cadeia do ciclo de vida para o cálculo das emissões que neste estudo foram utilizados os valores por defeito (cultivo e transporte).

Como já referido anteriormente, a Sovena Oilseeds já regista actualmente valores reais, não só para as etapas de processamento, como também para o transporte e distribuição quer da soja quer da colza, na certificação de sustentabilidade dos produtos comercializados, sejam eles biodiesel ou óleo bruto. Para a parte de cultivo os valores utilizados pela Sovena são geralmente reais para a soja, reportados por fornecedores certificados por um esquema de certificação aprovado pela Comissão Europeia, e valores por defeito para a colza. Logo, as emissões finais e reais reportadas pela Sovena são inferiores às registadas neste estudo, para a soja e para a colza.

11.2 – Emissões do Processamento (e_p) na Sovena

De forma a justificar os resultados anteriormente apresentados ir-se-á analisar mais detalhadamente as emissões de GEE específicas do processamento discriminadas para cada uma das fases do processo ocorrente na Sovena Oilseeds (extração, refinação e transesterificação).

Na figura seguinte apresentam-se as emissões de GEE considerando a alocação energética nas diferentes etapas do processamento do biodiesel de soja e colza em 2013 e 2014 na Sovena, mas não incluindo a redução inerente à produção excedentária de electricidade que a Sovena produz. Estes valores são também comparados na mesma figura com os valores do inventário BioGrace, versão 4c (BioGrace, 2013) e os valores por defeito legalmente estipulados na Directiva RED (2009/28/CE) para o processamento, embora nestes últimos se contabilize a electricidade excedentária.

Emissões de GEE no Processamento (g CO_{2eq}/MJ Biodiesel)

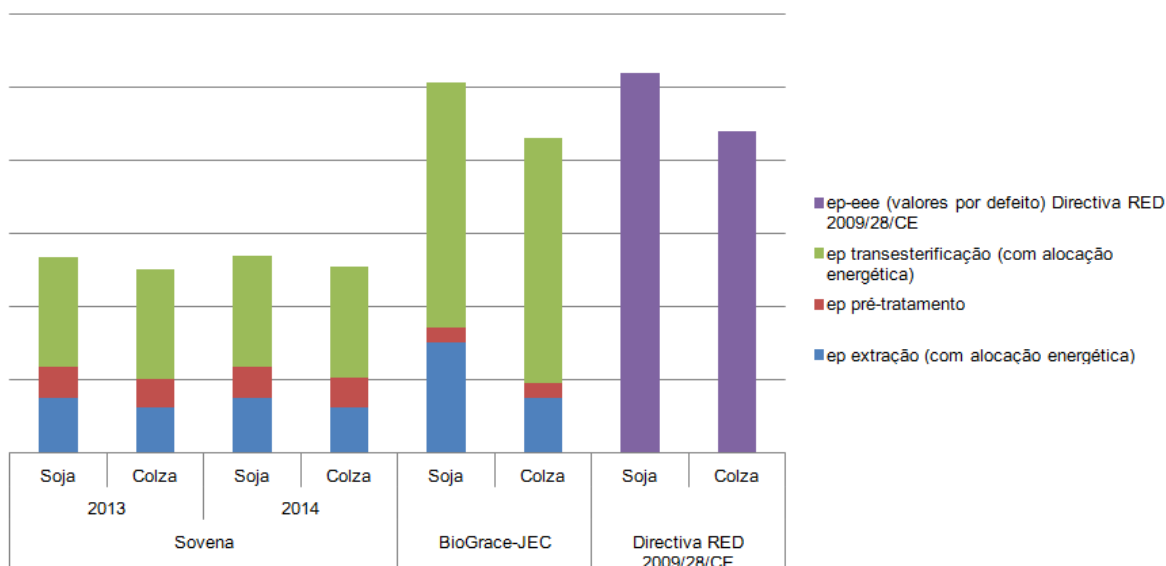


Figura 34. Emissões de GEE descritas por etapa do processamento (ep) do Biodiesel de Soja e Colza para a Sovena em 2013 e 2014 e comparação com as respectivas emissões descritas na plataforma BioGrace-JEC e emissões por defeito para o processamento (incluindo electricidade excedentária) (ep-eee) que constam na Directiva RED (2009/28/CE).

Ao analisar a figura pode observar-se a proporcionalidade da redução das emissões finais da Sovena para o processamento, comparativamente com os valores registados na plataforma BioGrace-JEC e os valores por defeito (26 g CO_{2eq}/MJ para a soja e 22 g CO_{2eq}/MJ para a colza) da Directiva RED (2009/28/CE). Esta diferença seria ainda mais acentuada se na figura fosse tida em conta a redução de (e_{ee}) na Sovena, redução esta incluída nos valores por defeito da Directiva RED (2009/28/CE). Consta-se também que ao dividir as emissões do processamento nas três etapas do processo, tanto no BioGrace-JEC como internamente na Sovena para a soja ou para a colza, as maiores emissões no processamento provêm da etapa final de transesterificação, representando cerca de 56,20% (soja) e 59,50% (colza) das emissões totais de processamento na Sovena, seguindo-se as emissões da etapa de extração e por fim a etapa com menos contributo para a libertação de GEE, o pré-tratamento. Também se verifica que as emissões GEE do processamento de biodiesel de soja versus biodiesel de colza na Sovena são da mesma ordem de grandeza, embora ligeiramente superiores para a soja. Em relação aos valores tabelados na base de dados BioGrace-JEC e na Directiva RED (2009/28/CE) já não se poderá fazer essa afirmação dado que as emissões de GEE associadas ao biodiesel de soja já representam um acréscimo de emissões de 14,94% quando comparadas com as emissões de colza. Todavia, constata-se que as emissões na Sovena são aproximadamente metade das emissões calculadas com base em valores tabelados.

Os contributos de emissões GEE de peso diferente em cada etapa dependem de vários factores que seguidamente serão analisados individualmente. Por a variação do peso desses factores ser

mínima de ano para ano, as figuras que suportam as análises seguintes e as constatações deles decorrentes só se reportam ao ano de 2013. Não foi possível analisar directamente os valores de consumo das diferentes matérias químicas, electricidade, vapor de água e gás natural dos processamentos dos biodiesel de soja e colza, com valores preconizados pela Directiva RED porque esta não discrimina valores de consumo.

- **Consumo de Químicos**

A Sovena Oilseeds recorre a vários químicos nas três etapas do processo. Na extracção utiliza-se hexano, no pré-tratamento utilizam-se ácido fosfórico, areias clarificantes, ácido cítrico e soda cáustica e, por fim, na etapa de transesterificação usa-se uma maior variedade de químicos, nomeadamente metanol, metilato de sódio, ácido clorídrico, ácido sulfúrico, ácido cítrico, soda cáustica e antioxidante.

Na figura seguinte, apresentam-se os consumos de produtos químicos no processamento da Sovena em 2013 para o biodiesel de soja e colza em kg por tonelada de matéria principal obtida no final da etapa em que o químico é usado. Por exemplo, o hexano usado na extracção estará em kg de hexano por tonelada de óleo bruto extraído. A título comparativo foram também recolhidos os valores por defeito de consumo de químicos por etapa, extraídos da ferramenta BioGrace-JEC (BioGrace, 2008) e que se encontram no APÊNDICE XIV – Inventários BioGrace-JEC (JEC, 2008b) (BioGrace, 2008).

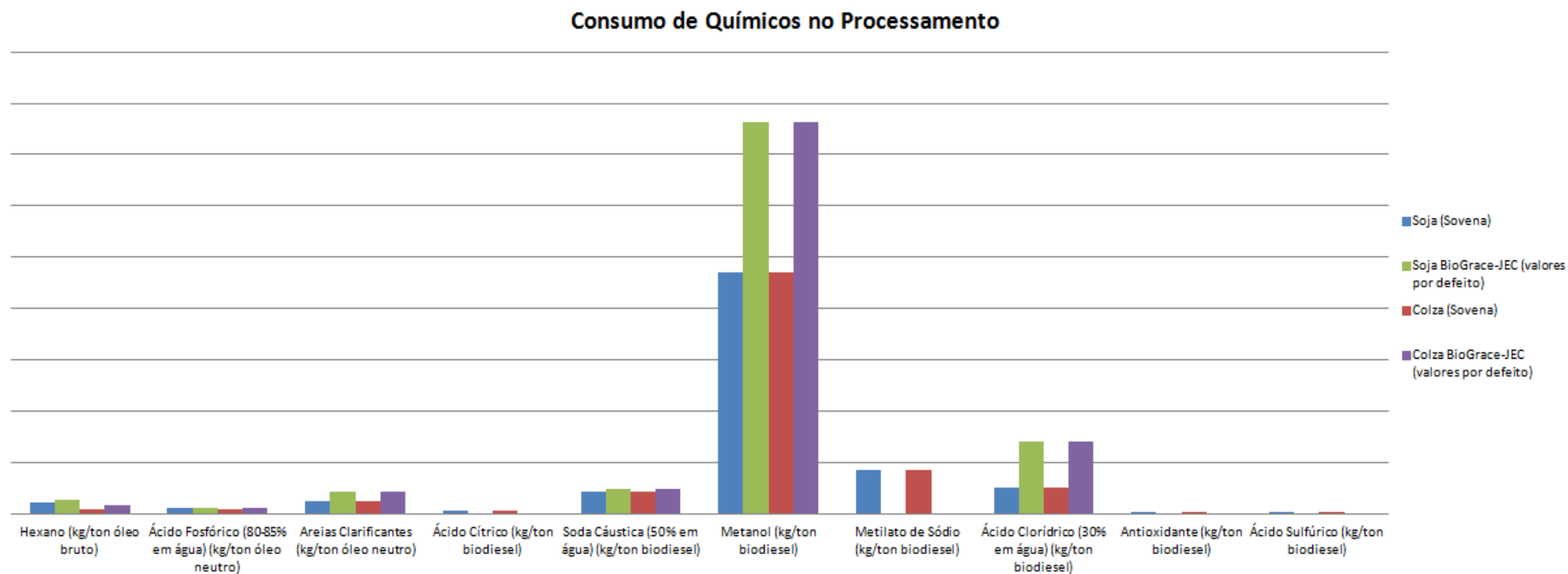


Figura 35. Consumo de químicos na produção de Biodiesel de Soja e Colza na Sovena Oilseeds no ano de 2013 e comparação com os consumos tabelados por defeito na plataforma BioGrace-JEC para o Biodiesel de Soja e Colza (BioGrace, 2008).

Analisando a figura observa-se que o produto químico mais utilizado na fábrica da Sovena em termos de quantidade é o metanol e que o mesmo apresenta um baixo rácio de kg por tonelada de biodiesel produzido em comparação com os valores por defeito assumidos no BioGrace-JEC para a etapa de transesterificação.

Salienta-se que o documento BioGrace-JEC não menciona alguns químicos utilizados na Sovena por diferenças nos processos internos da etapa de processamento na Sovena e os assumidos na plataforma BioGrace-JEC.

- **Consumo de Electricidade**

Nas três fases do processamento do biodiesel utilizam-se quantidades significativas de energia eléctrica e térmica, produzidas na unidade de co-geração instalada na Sovena.

Na figura seguinte encontram-se discriminados os consumos específicos de electricidade em cada etapa da produção de biodiesel de soja e colza na Sovena no ano de 2013, versus os valores por defeito explicitados no BioGrace para a soja e colza presentes no APÊNDICE XIV – Inventários BioGrace-JEC (JEC, 2008b) (BioGrace, 2008).

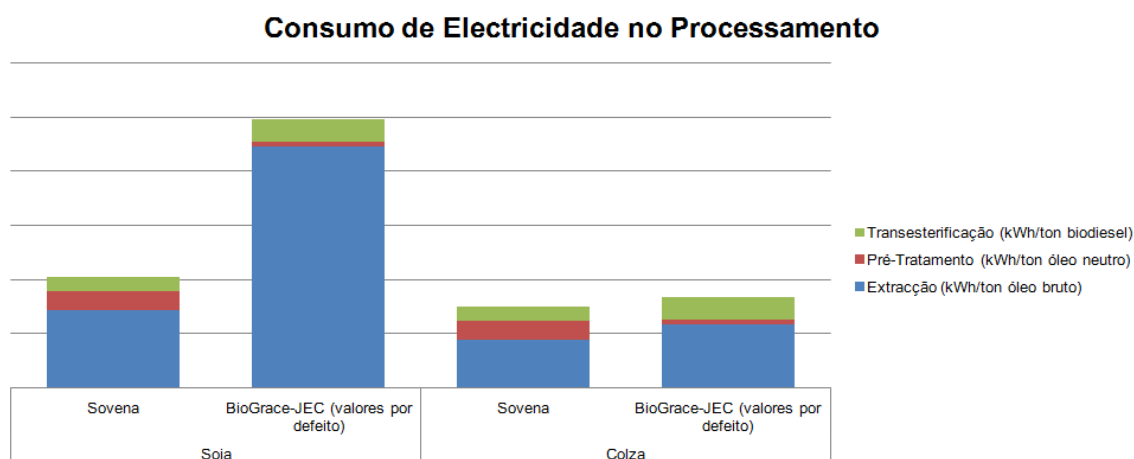


Figura 36. Comparação do consumo de Electricidade na produção de Biodiesel de Soja e Colza na Sovena Oilseeds em 2013 com os valores por defeito do BioGrace-JEC.

O consumo de electricidade é expresso em kWh por tonelada de produto principal obtido em cada etapa, ou seja, kWh por tonelada de óleo bruto, por tonelada de óleo neutro e por tonelada de biodiesel, obtidos nas etapas de extracção, pré-tratamento e transesterificação, respectivamente.

Os consumos de electricidade registados na Sovena são globalmente inferiores aos registados no BioGrace. Analisando com mais detalhe, verifica-se que os valores reais do consumo de electricidade nas etapas de extracção e de transesterificação na Sovena são inferiores aos valores por defeito assumidos pelo BioGrace-JEC. O mesmo não acontece para a etapa de pré-tratamento. Este facto ocorre porque a etapa de pré-tratamento assumida pela plataforma

BioGrace assenta em processos essencialmente químicos enquanto o pré-tratamento praticado na Sovena é um processo de refinação física com exigência energética superior.

Também se constata que a produção de biodiesel de soja determina maior consumo de electricidade do que a produção de biodiesel de colza, representando um acréscimo aproximado de 26,95%, predominantemente porque a semente de soja apresenta um teor de óleo inferior à semente de colza, razão pela qual o processo de extracção engloba mais etapas com recurso a um maior número de equipamentos com consequente aumento do consumo de energia eléctrica.

- **Consumo de Vapor de Água**

O processamento de biodiesel de soja e colza exige vapor sobreaquecido para fornecimento de energia térmica na elevação de temperatura e produção de vácuo, utilizado nas três etapas do processamento. Este vapor sobreaquecido é produzido na unidade de co-geração instalada na Sovena. Na figura abaixo discriminam-se os consumos específicos de calor, sob a forma de vapor, para cada etapa da produção de biodiesel de soja e colza na Sovena no ano de 2013.

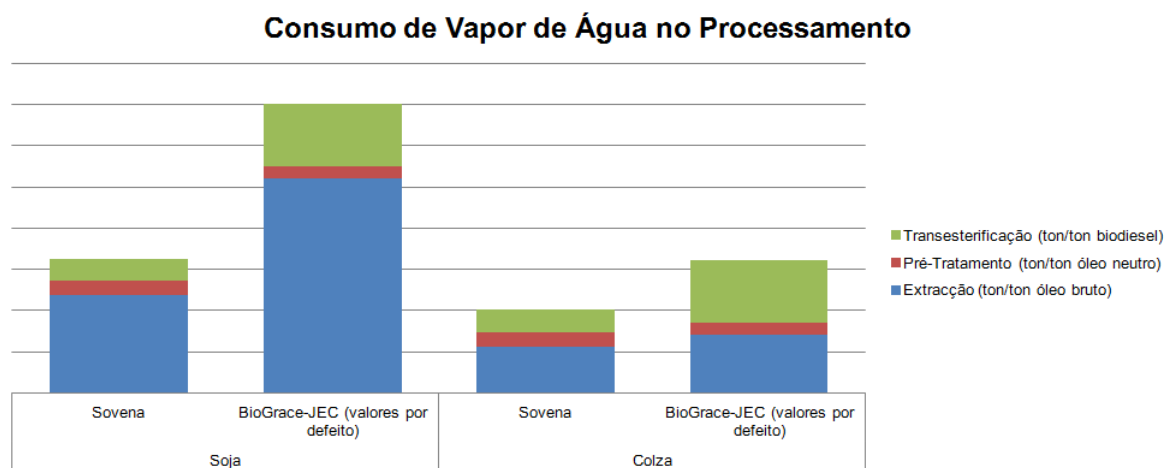


Figura 37. Comparação do consumo de Vapor de Água na produção de Biodiesel de Soja e Colza na Sovena Oilseeds em 2013 com os valores por defeito do BioGrace-JEC.

O consumo de vapor de água encontra-se expresso em tonelada de vapor por tonelada de produto principal obtido em cada etapa, ou seja, por tonelada de óleo bruto, neutro e de biodiesel, obtidos nas etapas de extracção, pré-tratamento e transesterificação, respectivamente. Os consumos registados na Sovena voltam a ser globalmente inferiores aos registados no BioGrace-JEC (APÊNDICE XIV – Inventários BioGrace-JEC (JEC, 2008b) (BioGrace, 2008)), observando-se menores consumos de vapor nas etapas de extracção e transesterificação. Contudo o consumo de vapor de água na Sovena na etapa de pré-tratamento embora com diferenças diminutas são superiores aos valores por defeito extraídos

do BioGrace, tal como referido anteriormente, por o pré-tratamento praticado na Sovena ser um processo de refinação física e não química.

Mantém-se a constatação que o processamento do biodiesel de soja se evidencia com maior exigência de vapor de água do que o processamento do biodiesel de colza, representando um acréscimo aproximado de 38,04%, essencialmente devido ao facto da etapa de extracção do óleo bruto de soja ocorrer a temperaturas superiores que a extracção de óleo bruto de colza.

- **Consumo de Gás Natural**

Na análise do consumo desta utilidade apenas serão comparados os valores registados internamente na Sovena para a soja e colza visto a plataforma BioGrace-JEC não registar o uso de gás natural nos consumos do seu processo. O gás natural é utilizado em partes do processo onde é necessário uma elevação de temperatura utilizando esta utilidade em vez de vapor de água. A Figura 38 reporta os valores em m³ de gás natural por cada tonelada de matéria principal obtida em cada etapa do processo.

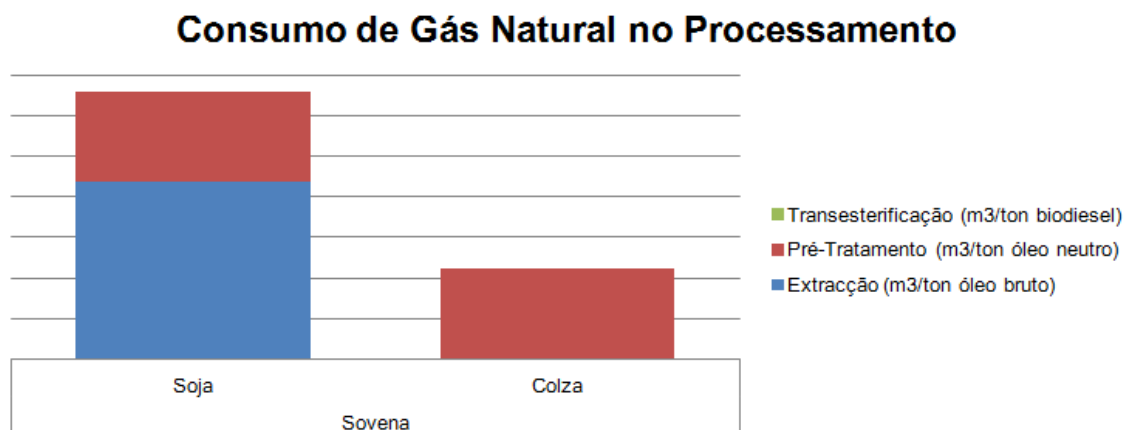


Figura 38. Consumo de Gás Natural na produção de Biodiesel de Soja e Colza na Sovena Oilseeds em 2013.

Assim, o gás natural é utilizado na etapa de pré-tratamento, quer para a soja como para a colza, devido à necessidade de aquecimento do óleo nessa fase, e esse consumo revela-se relativamente semelhante para ambas as sementes. Contudo no caso da soja existe ainda um consumo acrescido de gás natural na etapa de extracção utilizado no secador para remover a humidade inicial da semente de soja. Logo, o consumo global de gás natural na Sovena é maior para a soja do que para a colza.

Após uma abordagem dos consumos nas diferentes etapas do processamento, achou-se útil explicitar em cada uma delas o contributo dos diferentes químicos e matérias subsidiárias (electricidade, vapor de água e gás natural) nas emissões de GEE na produção de biodiesel na Sovena. Este contributo depende não só das quantidades consumidas expressas nas figuras

anteriores, mas também dos factores de emissão das diferentes utilidades necessárias à produção de biodiesel ($\text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{kg}$), presentes na "Lista de Factores de Emissão do ISCC" (ISCC, 2011). Efectivamente é o produto entre estas duas variáveis que determina a representatividade de cada um dos componentes do processo de produção na etapa em que é consumido relativamente às emissões da etapa em que é consumido.

Emissões Relativas de GEE dos Componentes Utilizados na Etapa de Extracção do Processamento da Soja -

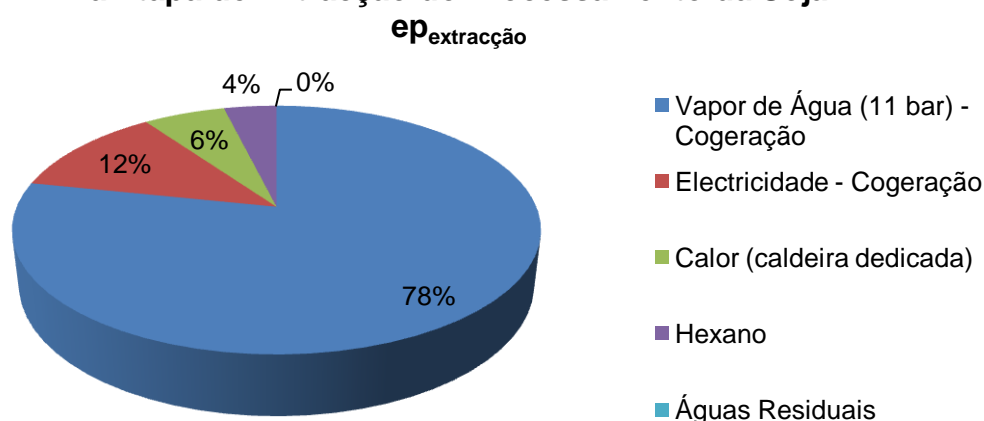


Figura 39. Emissões de GEE calculadas na Extracção de Óleo de Soja na Sovena Oilseeds em 2013.

Emissões Relativas de GEE dos Componentes Utilizados na Etapa de Extracção do Processamento da Colza -

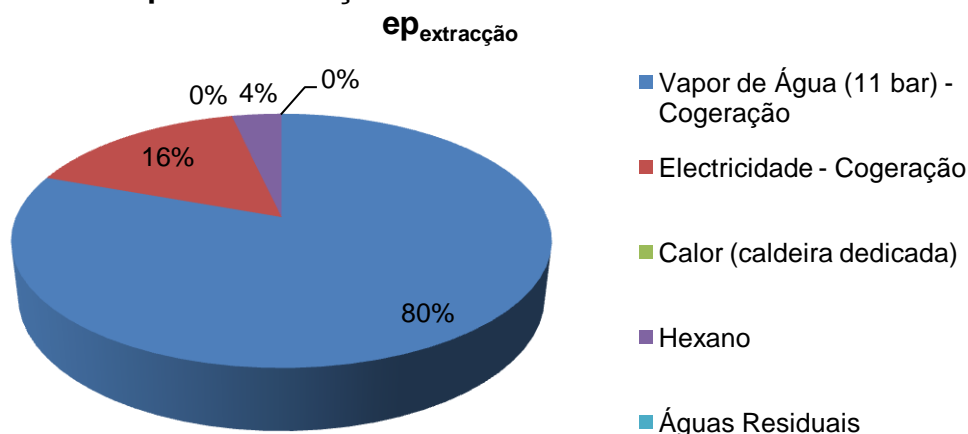


Figura 40. Emissões de GEE calculadas na Extracção de Óleo de Colza na Sovena Oilseeds em 2013.

Na extração, o maior emissor de GEE é o vapor de água com uma percentagem de 78% e 80% para a soja e colza, respectivamente. A electricidade representa o segundo contributo em termos de emissões GEE, em ambos os casos, contribuindo em 12% no processamento da soja e em 16% no da colza. A terceira representatividade em termos de emissões GEE no processamento da soja reporta-se ao gás natural (6%), utilizado para a produção de calor no secador (caldeira dedicada) na fábrica de extração, e no processamento da colza ao hexano (4%).

Emissões Relativas de GEE dos Componentes Utilizados na Etapa de Pré-Tratamento do Processamento da Soja -

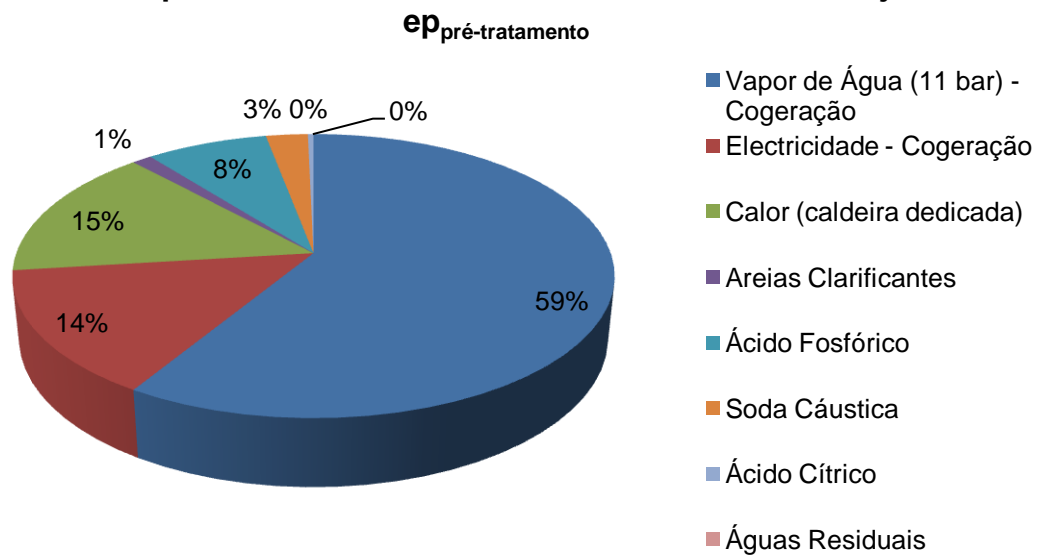


Figura 41. Emissões de GEE calculadas no Pré-Tratamento do Óleo Bruto de Soja na Sovena Oilseeds em 2013.

Emissões Relativas de GEE dos Componentes Utilizados na Etapa de Pré-Tratamento do Processamento da Colza -

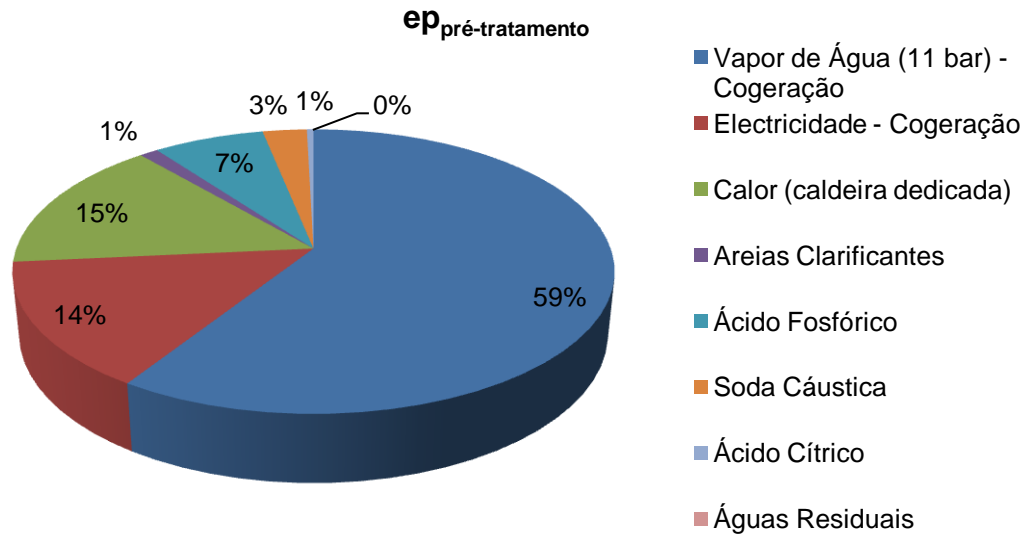


Figura 42. Emissões de GEE calculadas no Pré-Tratamento do Óleo Bruto de Colza na Sovena Oilseeds em 2013.

Na etapa de pré-tratamento a distribuição relativa das emissões de GEE é bastante semelhante para as diferentes utilidades e para as duas sementes oleaginosas deste estudo, mantendo-se o vapor de água a utilidade de maior contributo, aproximadamente 59%, seguido do gás natural (15%) e por fim as emissões provenientes da electricidade (14%).

**Emissões Relativas de GEE dos Componentes Utilizados
na Etapa de Transesterificação do Processamento do
Biodiesel - ep_{transesterificação}**

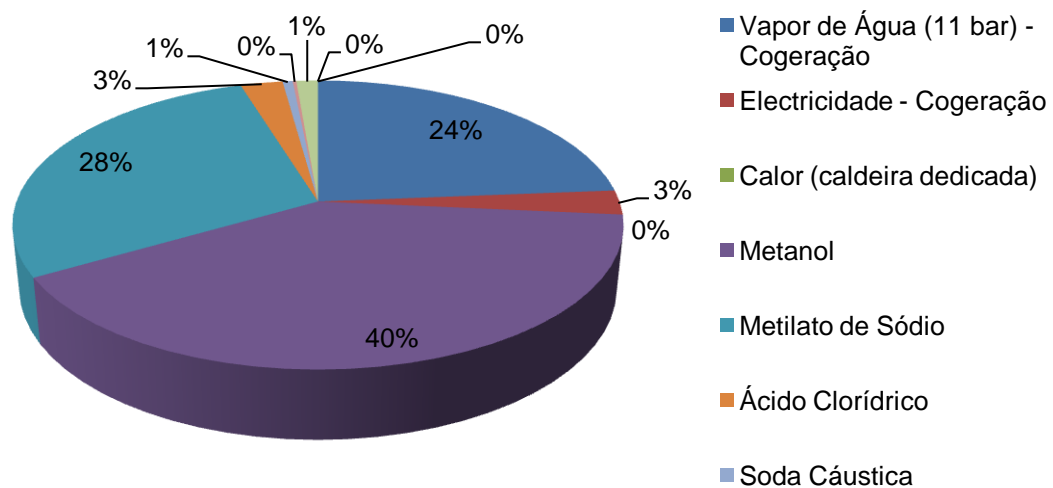


Figura 43. Emissões de GEE calculadas na Transesterificação para produção de Biodiesel na Sovena Oilseeds em 2013.

Na etapa de transesterificação a distribuição das emissões de GEE é a mesma para a soja e colza e observa-se que o componente que regista maiores emissões é o metanol (40%), seguido do metilato de sódio (28%) e do vapor de água (24%). Os restantes produtos utilizados na transesterificação do óleo neutro registam contributos para as emissões de GEE de uma ordem de grandeza muito menor do que as anteriormente referidas.

12 – Conclusões

Neste trabalho apresentam-se os resultados do cálculo das emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) dos ciclos de vida dos biodiesel de soja e colza produzido pela Sovena nos anos de 2013 e 2014 e respectivas reduções das emissões, relativamente ao combustível fóssil de referência.

O desenvolvimento deste estudo alicerçou-se nos documentos e diplomas legais que sustentam e controlam o desempenho dos países Estados-Membros da União Europeia no âmbito da produção de biodiesel, e definem as metas a atingir para garantir a sustentabilidade do biodiesel. Especificamente, esta dissertação é consonante com a Directiva 2009/28/CE de 23 de Abril do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à promoção de energia proveniente de fontes renováveis, citada neste texto por Directiva RED, o Decreto-Lei n.º 117/2010 de 25 de Outubro e as Comunicações da Comissão Europeia 2010/C 160/01 e 2010/C 160/02.

O cálculo das emissões GEE deste estudo processou-se segundo a metodologia do ISCC, esquema de regime voluntário para certificação de sustentabilidade da produção de biocombustíveis, aprovado pela União Europeia, e suportou-se em valores reais calculados segundo um inventário de dados específico da Sovena nas emissões do processamento do biodiesel tanto de soja como de colza (extração, pré-tratamento e transesterificação), e em relação ao cultivo, distribuição e transporte assumiram-se os valores por defeito legalmente aceites e constantes na Directiva RED. Explicitadas as opções metodológicas deste estudo salientam-se os principais resultados obtidos.

As emissões de GEE do biodiesel de soja produzido na Sovena em 2013 e 2014 totalizam 44,03 g CO_{2eq}/MJ e 44,76 g CO_{2eq}/MJ, considerando a alocação energética. Em relação à produção de biodiesel de colza as emissões de GEE totalizam 41,28 g CO_{2eq}/MJ e 42,02 g CO_{2eq}/MJ, respectivamente em 2013 e 2014.

Este estudo também permitiu constatar que a produção de biodiesel de soja na Sovena representa uma redução de aproximadamente 47% das emissões de GEE relativamente ao combustível fóssil de referência ($E_F = 83,8$ g CO_{2eq}/MJ) nos dois anos em análise. Já em relação ao biodiesel de colza verificou-se uma redução de aproximadamente 51% e 50% das emissões de GEE relativamente ao combustível fóssil de referência em 2013 e 2014 respectivamente.

Sendo exigido até 2016 uma redução mínima das emissões de GEE de 35%, constatou-se que o biodiesel de soja produzido na Sovena é sustentável até essa data. Mas a partir de 2017 passa a ser exigido uma redução de 50% das emissões de GEE em relação ao combustível fóssil de referência, correspondente a um máximo de emissões de 41,9 g CO_{2eq}/MJ. Assim, no caso da soja, e de acordo com os resultados do presente estudo, verificou-se que esse critério

de sustentabilidade não é atingido, pelo que se terá de otimizar o processo de cálculo das emissões de GEE no ciclo de vida da soja, calculando valores reais nas etapas de cultivo e transporte e distribuição, estratégia que não se adoptou neste estudo. Todavia salienta-se que a Sovena já reporta as emissões de GEE com base em valores reais em todo o ciclo de vida do biodiesel de soja. Dada a diversidade de fluxos de input e outputs e de distâncias inerentes ao transporte e distribuição destes, o cálculo das emissões corresponderia sempre a uma situação específica, por exemplo, para cada lote de semente e para cada comercialização de biodiesel, o que determinaria outro tipo de estudo. Mas em relação ao biodiesel de colza produzido na Sovena verificou-se que este é sustentável até 2016 mesmo sem ter necessidade de calcular as emissões de GEE com valores reais. Contudo, a partir de 2017 já se terá de recorrer ao cálculo de valores reais, pelo menos na etapa de processamento.

O presente estudo também comprovou que a produção da Sovena em termos de emissões GEE se encontra muito abaixo dos valores por defeito legalmente estipulados e expressos na Directiva RED, tanto para a soja (aproximadamente menos 14 g CO_{2eq}/MJ biodiesel produzido), como para a colza (aproximadamente menos 11 g CO_{2eq}/MJ biodiesel produzido). Especificamente, reportando-nos ao processamento, única fase deste estudo em que os cálculos foram com valores reais da Sovena, verificou-se que as emissões decorrentes do processamento menos a redução proveniente da produção excedentária de electricidade que ocorre dentro da instalação ($e_p - e_{ee}$), representam decréscimos superiores a 50% no caso da soja e superiores a 45% no que se refere à colza, quando comparadas com as emissões por defeito consideradas na Directiva RED: 26 g CO_{2eq}/MJ de biodiesel de soja e 22 g CO_{2eq}/MJ de biodiesel de colza.

Neste estudo verificou-se que no ciclo de vida do biodiesel produzido na Sovena é a etapa de cultivo (e_{ec}) aquela que mais contribui para as emissões de GEE, o que provavelmente se deve ao impacto do uso de fertilizantes com elevados factores de emissões associados, e é a transesterificação a etapa que mais contribui para as emissões de GEE totais do processamento ($e_p - e_{ee}$), seguindo-se as emissões da etapa de extracção e por último o pré-tratamento.

Recorrendo a valores reais só na etapa de processamento para calcular as emissões de GEE, verificou-se que as emissões de GEE do processamento de biodiesel de soja e do biodiesel de colza na Sovena são da mesma ordem de grandeza. No âmbito da análise da representatividade das diferentes utilidades necessárias ao processamento de biodiesel verificou-se que na extracção e no pré-tratamento a maior emissão de GEE está associado ao consumo de vapor de água com uma percentagem de 78% e 80% para a soja e colza, e de 59% no de pré-tratamento para as duas sementes. Na etapa de transesterificação as emissões estão mais associadas ao uso de metanol (40%).

Pelo exposto pensa-se que se atingiram os objectivos definidos para esta dissertação, dado que se calcularam, com recurso à plataforma digital criada no âmbito do estágio realizado na

Sovena Oilseeds, as emissões de GEE do biodiesel de soja e colza na Sovena em 2013 e 2014 e se validou a sustentabilidade dos biocombustíveis aí produzidos nesses anos. A reflexão sobre os resultados obtidos evidenciou a necessidade de intervenções futuras no âmbito da optimização do cálculo das emissões e possibilitou a identificação de aspectos do processo produtivo, passíveis de adequação visando a eficiência da Sovena em termos de emissões de GEE.

Como sugestões futuras, e perspectivando novos trabalhos de investigação, poderão empreender-se esforços para um contacto mais próximo entre produtores de biodiesel e cultivadores de sementes, facilitando o reporte das emissões relativas ao cultivo com base em valores reais, diminuindo o impacto da etapa de cultivo nas emissões.

Futuramente também se poderá equacionar a redução das emissões associada à produção combinada de electricidade e vapor produzidos na co-geração, através da substituição do sistema actual por uma caldeira de biomassa. Uma potencialidade da co-geração a explorar é a possibilidade de utilizar combustíveis de biomassa e resíduos, como por exemplo gases de refinarias, resíduos agrícolas ou resíduos do próprio processo industrial, para a produção de energia. A combustão destes materiais aumenta a relação custo-eficácia e reduz a necessidade de eliminação dos mesmos resíduos (United Nations Environment Programme, 2006).

Em 2017 terminam as isenções do Estado relativamente ao uso de co-geração que estão actualmente em vigor, e a Sovena Oilseeds já está a desenvolver estudos no sentido de terminar com este sistema, que é tecnicamente mantido e controlado por uma terceira entidade, e instalar uma caldeira de biomassa. Prevê-se que a biomassa a utilizar sejam as cascas de girassol obtidas na etapa de extracção. A substituição de um combustível fóssil, o gás natural, pela combustão de biomassa na produção de energias eléctrica e térmica, provavelmente ir-se-á reflectir em menores emissões de GEE, redução de consumo de energia proveniente de combustíveis fósseis e promoção de um desenvolvimento mais sustentável. Mas estudos devem dar suporte a esta nova estratégia de desenvolvimento e identificar as transformações a operar para a sua concretização.

Por último, mas numa perspectiva mais macro, poderá equacionar-se a creditação de sustentabilidade da Sovena Oilseeds no óleo alimentar, seu *core business*. Efectivamente algumas empresas do sector alimentar começam a promover a certificação de sustentabilidade dos seus produtos, como por exemplo a Unilever. Por sua vez o ISCC já tem uma plataforma desenvolvida para essa área de produção, o ISCC Plus. A Sovena, como empresa maioritariamente inserida na sector alimentar poderá futuramente ter as mesmas preocupações para o produto que mais produz, o óleo alimentar, como já as tem para o biodiesel.

13 – Referências Bibliográficas

- Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A., & Ibraheem, I. B. M. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19(3), 257–275.
doi:10.1016/j.sjbs.2012.04.005
- Akos, I., & Gutknecht, B. (1997). *Climate in danger : facts and implications of the greenhouse effect*. Bern.
- Al-Kayiem, H. H., Brebbia, C. A., & Zubir, S. S. (2015). *Energy and Sustainability V*. (W. Press, Ed.).
- Baptista, P. de C. (2011). *Evaluation of the impacts of the introduction of alternative fuelled vehicles in the road transportation sector Thesis approved in public session to obtain the PhD Degree in Sustainable Energy Systems*. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico.
- BioGrace. (2008). Biofuels pathways RED method 14 Nov 2008 (Excel).
- BioGrace. (2013). BioGrace Excel tool - version 4c. Retrieved from http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/recognisedtool/nhttp://www.biograce.net/img/files/2013-10-09-123912BioGrace_GHG_calculation_tool_-_version_4c.zip
- BioGrace. (2014). The BioGrace GHG calculation tool: a recognised voluntary scheme. Retrieved from <http://www.biograce.net/home>
- British Petroleum. (2014). *BP Statistical Review of World Energy June 2014*.
- Camobreco, V., Duffield, J., Sheehan, J., Shapouri, H., & Graboski, M. (1998). Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. Final report, (May), Size: 315 pages. doi:10.2172/658310
- Chisti, Y. (2007). *Biodiesel from microalgae*. *Biotechnology Advances* (Vol. 26, pp. 126–131). doi:10.1016/j.tibtech.2007.12.002
- Comissão Europeia. (2010). Comunicação da Comissão sobre a aplicação prática do regime de sustentabilidade da UE para os biocombustíveis e biolíquidos e sobre as regras de contabilização dos biocombustíveis (2010/C 160/02). *Jornal Oficial Da União Europeia*.
- Comissão Europeia. (2011a). Certification schemes for biofuels (MEMO/11/522), (July), 4. Retrieved from http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-11-522_en.htm?locale=en
- Comissão Europeia. (2011b). Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Roteiro de transição para uma economia hipocarbónica competitiva em 2050. Bruxelas.
- Comissão Europeia. (2011c). Decisão de Execução da Comissão relativa ao reconhecimento do regime «International Sustainability and Carbon Certification» para fins de demonstração do cumprimento dos critérios de sustentabilidade nos termos das Directivas 2009/28/CE e 2009/30/CE do Pa. *Jornal Oficial Da União Europeia*, 79–80.
- Comissão Europeia. (2014). EU Action on Climate. Retrieved November 3, 2014, from http://ec.europa.eu/clima/policies/brief/eu/index_en.htm

- Dabdoub, M. J., Bronzel, J. L., & Rampin, M. A. (2009). Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. *Química Nova*, 32(3), 776–792.
- DGEG. (2015). Direcção Geral de Energia e Geologia - Consumo de energia primária. Retrieved from <http://www.adene.pt/indicador/consumo-de-energia-primaria-ktep>
- Diário da República. Despacho n.º17313/2008 Direcção-Geral de Energia e Geologia (2008).
- Diário da República. (2010). Decreto-Lei n.º117/2010.
- Estrela, E., Soares, M. A., & Leitão, M. J. (2013). *Saber Escrever Uma Tese e Outros Textos*. (Publicações Dom Quixote, Ed.) (9ª Edição.).
- EuroObserv'ER. (2014a). *Biofuels Barometer*.
- EuroObserv'ER. (2014b). Press release New EurObserv'ER Biofuel Barometer: first time ever for EU-consumption of biofuels to decrease, 1–4.
- European Biofuels Technology Platform. (2014). BioGrace - Harmonisation of GHG Calculations for biofuels. Retrieved from <http://www.biofuelstp.eu/biograce.htm>
- Eurostat. (2013). 27. Energy dependence. Retrieved from <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdcc310>
- Fehrenbach, H., Gärtner, S., Reinhardt, G., & Rettenmaier, N. (2007). Greenhouse Gas Balances for the German Biofuels Quota Legislation Methodological Guidance and Default Values Authors :, (December).
- Felizardo, P. M. G. (2003). *Produção de Biodiesel a Partir de Óleos Usados de Fritura*. Instituto Superior Técnico. Retrieved from <http://www.ebah.pt/content/ABAAAAKcQAI/biodiesel>
- Franco, A. L. C., Lôbo, I. P., Da Cruz, R. S., Teixeira, C. M. L. L., De Almeida Neto, J. A., & Menezes, R. S. (2013). Biodiesel de Microalgas: Avanços e Desafios. *Química Nova*, 36(3), 437–448. doi:10.1590/S0100-40422013000300015
- Geris, R., Dos Santos, N. a C., Amaral, B. A., Maia, I. D. S., Castro, V. D., & Carvalho, J. R. M. (2007). Biodiesel de Soja - Reacção de Transesterificação para Aulas Práticas de Química Orgânica. *Química Nova*, 30(5), 1369–1373. doi:10.1590/S0100-40422007000500053
- Gírio, F., Bogel-Lukasik, R., Matos, C., Oliveira, C., & Silva, L. (2013). *Biocombustíveis: Uma oportunidade ou um problema para Portugal. II Workshop (Bio)Energia* (pp. 86–91).
- Gribbin, J. (1990). *Hothouse Earth the Greenhouse Effect and Gaia*. Bantam Press.
- Harvey, A. H. (1998). *Thermodynamic Properties of Water: Tabulation from the IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use (NISTIR 5078)* (pp. 16–75). Retrieved from <http://www.nist.gov/srd/upload/NISTIR5078-Tab3.pdf>
- Heijungs, R., Guinee, J. B., Huppes, G., Lankreijer, R. M., Udo, D. H., Sleeswijk, a. W., ... Goede, H. P. (1992). *Environmental Life Cycle Assessment of Products - Vol1: Guide* (p. 96).

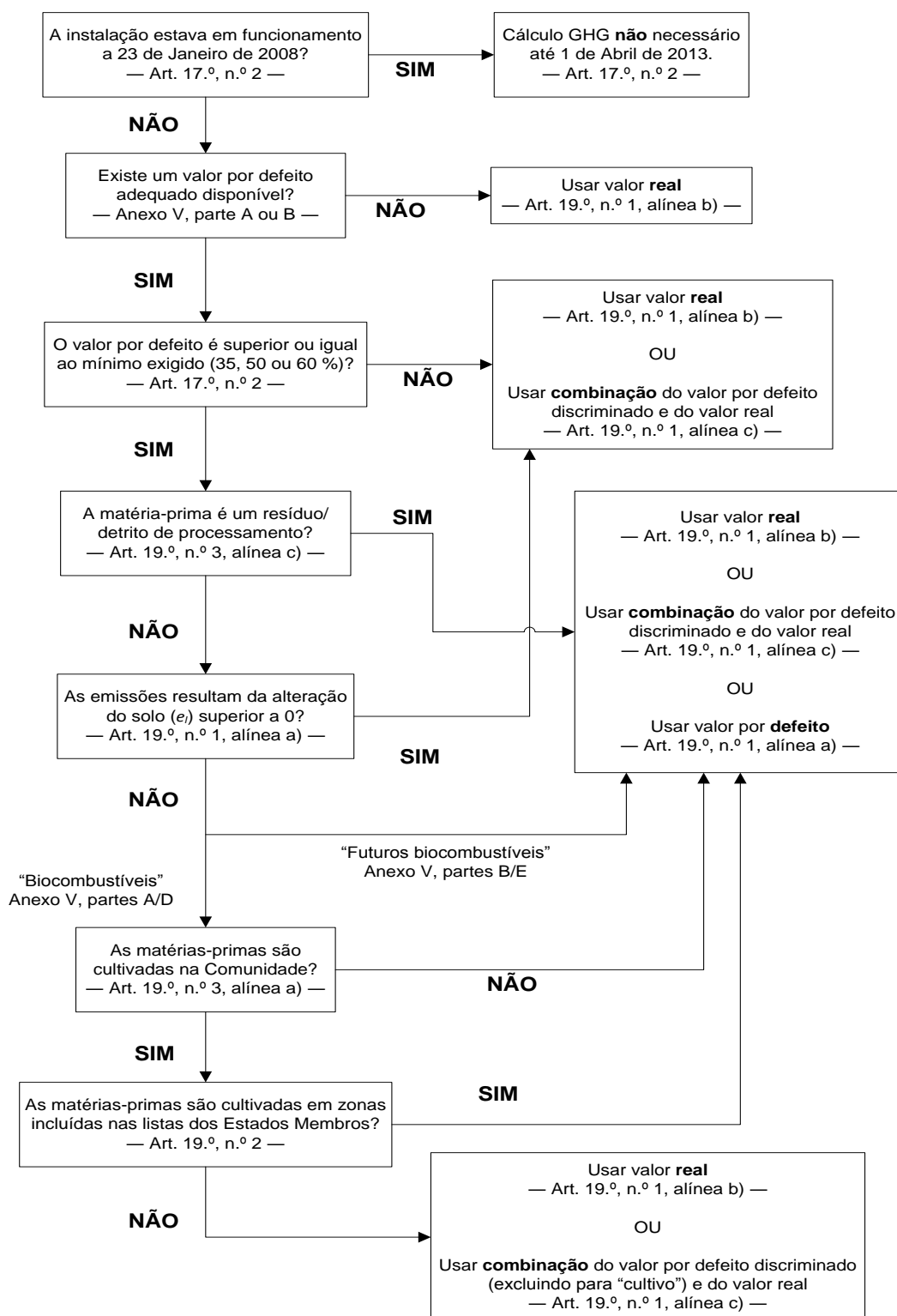
- Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., & Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 143–169. doi:10.1016/j.rser.2011.07.143
- International Energy Agency. (2014). *CO2 Emissions from Fuel Combustion Highlights* (pp. 1–136).
- International Energy Agency. (2013). Portugal Balances: Statistic. Retrieved from <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=PORTUGAL&product=Balances&year=2012>
- International Energy Agency. (2014). 2014 Key World Energy STATISTICS. Retrieved from <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf>
- ISCC, I. S. and C. C. (2011). *GHG Emissions Calculation Methodology and GHG Audit* (p. 28).
- Karl, T. R., Melillo, J. M., & Peterson, T. C. (2009). *Global Climate Change Impacts in the United States*. *Society* (Vol. 54, p. 196). Retrieved from www.globalchange.gov/usimpacts
- Keyzer, M., Merbis, M., & Voortman, R. (2008). *The Biofuel Controversy*. *Stichting Onderzoek Wereldvoedselvoorziening van de Vrije Universiteit* (Vol. 156, pp. 507–527). Retrieved from 10.1007/s10645-008-9098-x
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,shib&db=buh&AN=35525226&site=ehost-live>
- Ma, F., & Hanna, M. a. (1999). Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 70, 1–15. doi:10.1016/S0960-8524(99)00025-5
- Mota, I. A., Pinto, M., Sá, J. V. e, Marques, V. S., & Ribeiro, J. F. (2005). *Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS) 2005-2015 e Plano de Implementação*.
- Naik, S. N., Goud, V. V., Rout, P. K., & Dalai, A. K. (2009). Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 578–597. doi:10.1016/j.rser.2009.10.003
- National Research Council. (2010). *Advancing the Science of Climate Change* (p. 489). Retrieved from http://dge.stanford.edu/labs/caldeiralab/Caldeira_research/pdf/ACC_Science_2010.pdf
- Nhambiu, J. (2013). Instalações Térmicas: Poder calorífico, Entalpia da Combustão e Temperatura Teórica de Combustão.
- Nobre, M. (2014). Biocombustíveis: Uma política europeia ambiental e socialmente comprometida? *Debater Europa*, 275–306. Retrieved from <http://europe-direct-aveiro.aeva.eu/debatereuropa/images/n11/mnobre.pdf>
- ONU. (1997). Protocolo de Quioto à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas.
- Parlamento Europeu. DIRECTIVA 2003/30/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 8 de Maio de 2003 relativa à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes (2003).
- Parlamento Europeu. DIRECTIVA 2009/28/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 23 de Abril de 2009 relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE (2009).

- Patanita, M. (2010). *Culturas alternativas e plantas para fins energéticos*.
- Ruas, J. de C. (2011). *Extracção e Caracterização do Óleo das Sementes da Planta de Champalo - Estudos de Transesterificação Catalítica para Preparação de Biodiesel*. Universidade de Coimbra.
- Schnoor, J. L. (2006). Biofuels and the environment. *Environmental Science & Technology - American Chemical Society*, 4042.
- Schuchardt, U., Sercheli, R., & Matheus, R. (1998). Transesterification of Vegetable Oils : a Review General Aspects of Transesterification Transesterification of Vegetable Oils Acid-Catalyzed Processes Base-Catalyzed Processes. *J. Braz. Chem. Soc.*, 9(1), 199–210.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M. M. B., ... Chen, Z. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Mitigation of climate change* (p. 1007). Retrieved from <http://www.worldcat.org/oclc/603555098> TS - WorldCat
- Sovena. (2012). Apresentação Sovena Oilseeds - Integração.
- Sovena. (2013). *Sustainability Report 2013* (p. 55).
- United Nations. (2000). Climate Change Information Sheet 11: Sea levels, oceans, and coastal areas. Retrieved from <http://unfccc.int/cop3/fccc/climate/fact11.htm>
- United Nations Environment Programme. (2006). Cogeneration 1. In *Energy Efficiency Guide for Industry in Asia* (Vol. 10, pp. 1–19). Retrieved from www.energyefficiencyasia.org

Anexos

ANEXO 1 – Métodos de cálculo do impacto na formação de gases com efeito de estufa

Fonte: Jornal Oficial da União Europeia – “Comunicação da Comissão sobre a aplicação prática do regime de sustentabilidade da UE para os biocombustíveis e biolíquidos e sobre as regras de contabilização dos biocombustíveis” (2010/C 160/02) (Comissão Europeia, 2010).



ANEXO 2 – Tabela de Propriedades Termodinâmicas da Água

Propriedades termodinâmicas da água calculadas pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST) de acordo com a formulação de 1995 do *International Association for the Properties of Water and Steam* (IAPWS) para as propriedades termodinâmicas da água comum para uso científico generalizado (Harvey, 1998).

Table 3. Compressed Water and Superheated Steam (continued)

| 1.2 MPa ($t_s = 187.957\text{ °C}$) | | | | $t_s\text{ °C}$ | 1.3 MPa ($t_s = 191.605\text{ °C}$) | | | | $t_s\text{ °C}$ | 1.4 MPa ($t_s = 195.039\text{ °C}$) | | | |
|---------------------------------------|---------|--------|-----------|-----------------|---------------------------------------|---------|--------|-----------|-----------------|---------------------------------------|---------|--------|-----------|
| v | ρ | h | s | | v | ρ | h | s | | v | ρ | h | s |
| 1.138 50 | 878.35 | 798.33 | 2.2159 | t_{L} | 1.143 80 | 874.28 | 814.60 | 2.2508 | t_{L} | 1.148 92 | 870.39 | 829.97 | 2.2835 |
| 163.26 | 6.1251 | 2783.7 | 6.5217 | t_{V} | 151.19 | 6.6144 | 2786.5 | 6.4936 | t_{V} | 140.78 | 7.1034 | 2788.8 | 6.4675 |
| 0.999 60 | 1000.40 | 1.18 | -0.000 08 | 0 | 0.999 55 | 1000.45 | 1.28 | -0.000 07 | 0 | 0.999 50 | 1000.50 | 1.38 | -0.000 06 |
| 0.999 49 | 1000.51 | 22.21 | 0.076 23 | 5 | 0.999 45 | 1000.56 | 22.31 | 0.076 23 | 5 | 0.999 40 | 1000.60 | 22.41 | 0.076 23 |
| 0.999 77 | 1000.23 | 43.19 | 0.150 98 | 10 | 0.999 73 | 1000.27 | 43.29 | 0.150 97 | 10 | 0.999 68 | 1000.32 | 43.38 | 0.150 96 |
| 1.000 39 | 999.62 | 64.13 | 0.224 28 | 15 | 1.000 34 | 999.66 | 64.22 | 0.224 27 | 15 | 1.000 29 | 999.71 | 64.32 | 0.224 25 |
| 1.001 29 | 998.71 | 85.04 | 0.296 23 | 20 | 1.001 25 | 998.76 | 85.13 | 0.296 21 | 20 | 1.001 20 | 998.80 | 85.23 | 0.296 19 |
| 1.002 46 | 997.54 | 105.94 | 0.366 92 | 25 | 1.002 42 | 997.59 | 106.03 | 0.366 89 | 25 | 1.002 37 | 997.63 | 106.12 | 0.366 86 |
| 1.003 88 | 996.14 | 126.82 | 0.436 39 | 30 | 1.003 83 | 996.18 | 126.92 | 0.436 36 | 30 | 1.003 79 | 996.23 | 127.01 | 0.436 33 |
| 1.005 51 | 994.52 | 147.71 | 0.504 71 | 35 | 1.005 47 | 994.56 | 147.80 | 0.504 68 | 35 | 1.005 42 | 994.61 | 147.89 | 0.504 64 |
| 1.007 36 | 992.70 | 168.59 | 0.571 94 | 40 | 1.007 31 | 992.74 | 168.68 | 0.571 90 | 40 | 1.007 27 | 992.79 | 168.77 | 0.571 86 |
| 1.009 39 | 990.69 | 189.48 | 0.638 11 | 45 | 1.009 35 | 990.74 | 189.56 | 0.638 06 | 45 | 1.009 31 | 990.78 | 189.65 | 0.638 02 |
| 1.011 62 | 988.51 | 210.37 | 0.703 26 | 50 | 1.011 57 | 988.56 | 210.45 | 0.703 21 | 50 | 1.011 53 | 988.60 | 210.54 | 0.703 17 |
| 1.014 02 | 986.17 | 231.26 | 0.767 43 | 55 | 1.013 98 | 986.22 | 231.35 | 0.767 38 | 55 | 1.013 93 | 986.26 | 231.43 | 0.767 33 |
| 1.016 60 | 983.68 | 252.17 | 0.830 67 | 60 | 1.016 55 | 983.72 | 252.26 | 0.830 61 | 60 | 1.016 50 | 983.76 | 252.34 | 0.830 56 |
| 1.019 33 | 981.03 | 273.09 | 0.892 99 | 65 | 1.019 29 | 981.08 | 273.17 | 0.892 93 | 65 | 1.019 24 | 981.12 | 273.26 | 0.892 88 |
| 1.022 23 | 978.25 | 294.02 | 0.954 44 | 70 | 1.022 19 | 978.29 | 294.10 | 0.954 38 | 70 | 1.022 14 | 978.34 | 294.18 | 0.954 32 |
| 1.025 29 | 975.33 | 314.97 | 1.0150 | 75 | 1.025 25 | 975.38 | 315.05 | 1.0150 | 75 | 1.025 20 | 975.42 | 315.13 | 1.0149 |
| 1.028 51 | 972.28 | 335.93 | 1.0748 | 80 | 1.028 46 | 972.33 | 336.01 | 1.0748 | 80 | 1.028 41 | 972.37 | 336.09 | 1.0747 |
| 1.031 88 | 969.11 | 356.91 | 1.1338 | 85 | 1.031 83 | 969.15 | 356.99 | 1.1337 | 85 | 1.031 78 | 969.20 | 357.07 | 1.1337 |
| 1.035 40 | 965.81 | 377.91 | 1.1921 | 90 | 1.035 35 | 965.86 | 377.99 | 1.1920 | 90 | 1.035 30 | 965.90 | 378.07 | 1.1919 |
| 1.039 07 | 962.40 | 398.94 | 1.2496 | 95 | 1.039 02 | 962.44 | 399.02 | 1.2495 | 95 | 1.038 97 | 962.49 | 399.09 | 1.2494 |
| 1.042 90 | 958.86 | 419.99 | 1.3064 | 100 | 1.042 85 | 958.91 | 420.07 | 1.3063 | 100 | 1.042 80 | 958.96 | 420.14 | 1.3062 |
| 1.046 88 | 955.22 | 441.07 | 1.3625 | 105 | 1.046 83 | 955.27 | 441.15 | 1.3624 | 105 | 1.046 78 | 955.31 | 441.22 | 1.3623 |
| 1.051 02 | 951.46 | 462.18 | 1.4179 | 110 | 1.050 96 | 951.51 | 462.26 | 1.4178 | 110 | 1.050 91 | 951.56 | 462.33 | 1.4178 |
| 1.055 31 | 947.59 | 483.33 | 1.4728 | 115 | 1.055 26 | 947.64 | 483.40 | 1.4727 | 115 | 1.055 20 | 947.69 | 483.47 | 1.4726 |
| 1.059 76 | 943.61 | 504.52 | 1.5270 | 120 | 1.059 71 | 943.66 | 504.59 | 1.5269 | 120 | 1.059 65 | 943.71 | 504.66 | 1.5268 |
| 1.064 38 | 939.52 | 525.74 | 1.5806 | 125 | 1.064 32 | 939.57 | 525.81 | 1.5806 | 125 | 1.064 26 | 939.62 | 525.88 | 1.5805 |
| 1.069 16 | 935.32 | 547.01 | 1.6337 | 130 | 1.069 10 | 935.37 | 547.08 | 1.6336 | 130 | 1.069 04 | 935.42 | 547.15 | 1.6335 |
| 1.074 10 | 931.01 | 568.33 | 1.6863 | 135 | 1.074 04 | 931.06 | 568.40 | 1.6862 | 135 | 1.073 98 | 931.11 | 568.47 | 1.6861 |
| 1.079 23 | 926.59 | 589.71 | 1.7383 | 140 | 1.079 16 | 926.64 | 589.77 | 1.7382 | 140 | 1.079 10 | 926.70 | 589.83 | 1.7381 |
| 1.084 53 | 922.06 | 611.13 | 1.7899 | 145 | 1.084 46 | 922.12 | 611.20 | 1.7898 | 145 | 1.084 40 | 922.17 | 611.26 | 1.7897 |
| 1.090 01 | 917.42 | 632.63 | 1.8410 | 150 | 1.089 95 | 917.48 | 632.69 | 1.8409 | 150 | 1.089 88 | 917.53 | 632.75 | 1.8408 |
| 1.095 69 | 912.67 | 654.18 | 1.8916 | 155 | 1.095 62 | 912.72 | 654.24 | 1.8915 | 155 | 1.095 55 | 912.78 | 654.30 | 1.8914 |
| 1.101 57 | 907.80 | 675.81 | 1.9419 | 160 | 1.101 50 | 907.86 | 675.87 | 1.9417 | 160 | 1.101 42 | 907.92 | 675.93 | 1.9416 |
| 1.107 65 | 902.81 | 697.52 | 1.9917 | 165 | 1.107 57 | 902.87 | 697.57 | 1.9916 | 165 | 1.107 50 | 902.93 | 697.63 | 1.9914 |
| 1.113 95 | 897.71 | 719.31 | 2.0411 | 170 | 1.113 87 | 897.77 | 719.36 | 2.0410 | 170 | 1.113 79 | 897.83 | 719.42 | 2.0409 |
| 1.120 47 | 892.48 | 741.18 | 2.0902 | 175 | 1.120 39 | 892.55 | 741.23 | 2.0901 | 175 | 1.120 31 | 892.61 | 741.29 | 2.0900 |
| 1.127 23 | 887.13 | 763.15 | 2.1390 | 180 | 1.127 14 | 887.20 | 763.20 | 2.1388 | 180 | 1.127 06 | 887.26 | 763.25 | 2.1387 |
| 1.134 24 | 881.65 | 785.23 | 2.1874 | 185 | 1.134 15 | 881.72 | 785.27 | 2.1873 | 185 | 1.134 06 | 881.79 | 785.32 | 2.1871 |
| 164.32 | 6.0857 | 2789.4 | 6.5340 | 190 | 1.141 41 | 876.11 | 807.45 | 2.2354 | 190 | 1.141 32 | 876.18 | 807.50 | 2.2353 |
| 166.86 | 5.9931 | 2803.0 | 6.5631 | 195 | 152.83 | 6.5434 | 2796.0 | 6.5141 | 195 | 1.148 86 | 870.43 | 829.79 | 2.2831 |
| 169.34 | 5.9053 | 2816.1 | 6.5909 | 200 | 155.19 | 6.4439 | 2809.6 | 6.5431 | 200 | 143.03 | 6.9918 | 2803.0 | 6.4975 |
| 174.17 | 5.7415 | 2841.3 | 6.6437 | 210 | 159.76 | 6.2595 | 2835.7 | 6.5975 | 210 | 147.38 | 6.7850 | 2829.9 | 6.5538 |
| 178.87 | 5.5908 | 2865.7 | 6.6937 | 220 | 164.18 | 6.0907 | 2860.7 | 6.6487 | 220 | 151.58 | 6.5970 | 2855.5 | 6.6062 |
| 183.46 | 5.4508 | 2889.5 | 6.7414 | 230 | 168.50 | 5.9347 | 2884.9 | 6.6973 | 230 | 155.66 | 6.4241 | 2880.2 | 6.6559 |
| 187.97 | 5.3200 | 2912.7 | 6.7872 | 240 | 172.73 | 5.7895 | 2908.5 | 6.7439 | 240 | 159.65 | 6.2637 | 2904.3 | 6.7033 |
| 192.41 | 5.1973 | 2935.6 | 6.8313 | 250 | 176.88 | 5.6536 | 2931.8 | 6.7887 | 250 | 163.56 | 6.1139 | 2927.9 | 6.7488 |
| 196.79 | 5.0817 | 2958.2 | 6.8740 | 260 | 180.97 | 5.5258 | 2954.6 | 6.8320 | 260 | 167.41 | 5.9735 | 2951.0 | 6.7926 |
| 201.11 | 4.9723 | 2980.5 | 6.9155 | 270 | 185.01 | 5.4051 | 2977.2 | 6.8739 | 270 | 171.20 | 5.8411 | 2973.8 | 6.8350 |
| 205.40 | 4.8686 | 3002.6 | 6.9558 | 280 | 189.00 | 5.2909 | 2999.5 | 6.9146 | 280 | 174.95 | 5.7160 | 2996.4 | 6.8762 |
| 209.64 | 4.7700 | 3024.5 | 6.9951 | 290 | 192.96 | 5.1825 | 3021.6 | 6.9543 | 290 | 178.65 | 5.5975 | 3018.8 | 6.9162 |

Apêndices

APÊNDICE I – Emissões de Gases com Efeito de Estufa Proveniente do Cultivo de Matérias-Primas: Colza¹²

CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA BIODEISEL DE Colza

O presente ficheiro calcula as emissões de GEE e reduções das emissões do Ciclo de Vida do Biodiesel de Colza da Sovena em 2013 de acordo com a metodologia fornecida pelo Certificado de Sustentabilidade ISCC (ISCC 205 11-03-15 V 2,3-EU)



e_{ec} - Emissões provenientes do cultivo de matérias-primas

| | | | |
|---|--|--|--|
| fertilizante (kg/(ha*ano)) | | | |
| EF_{produção do fertilizante} (kg CO₂eq/kg fertilizante) | | EM_{fertilizante} (kg CO₂eq/(ha*ano)) | |
| EF_{emissões do fertilizante no terreno} (kg CO₂eq/kg fertilizante) | | | |
| diesel (l/(ha*ano)) | | EM_{diesel} (kg CO₂eq/(ha*ano)) | |
| EF_{diesel} (kg CO₂eq/l diesel) | | | |
| electricidade (kWh/(ha*ano)) | | EM_{electricidade} (kg CO₂eq/(ha*ano)) | |
| EF_{mix de electricidade regional} (kg CO₂eq/kWh) | | | |
| input (kg/(ha*ano)) | | EM_{input} (kg CO₂eq/(ha*ano)) | |
| EF_{input} (kg CO₂eq/kg) | | | |
| rendimento da colheita_{produto principal} (kg/(ha*ano)) | | | |
| e_{ec} (kg CO₂eq/kg colheita) | | | |

¹² As presentes tabelas são referentes ao ano de 2013 para a colza. Contudo, iguais tabelas de cálculo foram construídas para o estudo referente ao ano de 2014. As tabelas referentes à soja encontram-se no corpo da dissertação.

APÊNDICE II – Contabilização anual das Emissões Provenientes de Alterações do Carbono Armazenado Devidas a Alterações do Uso dos Solos: Colza¹³

CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA BIODEISEL DE Colza

O presente ficheiro calcula as emissões de GEE e reduções das emissões do Ciclo de Vida do Biodiesel de Colza da Sovena em 2013 de acordo com a metodologia fornecida pelo Certificado de Sustentabilidade ISCC (ISCC 205 11-03-15 V 2,3-EU)



e_I - Contabilização anual das emissões provenientes de alterações do carbono armazenado devidas a alterações do uso dos solos

| | |
|--|---|
| rendimento da colheita <small>produto principal (kg/(ha*ano))</small> | |
| CS_R (kg C/ha) | |
| CS_A (kg C/ha) | |
| e_I (kg C/kg) | 0 |

¹³ As presentes tabelas são referentes ao ano de 2013 para a colza. Contudo, iguais tabelas de cálculo foram construídas para o estudo referente ao ano de 2014. As tabelas referentes à soja encontram-se no corpo da dissertação.

APÊNDICE III – Consumos e Produções da Etapa de Extracção do Óleo de Colza¹⁴ na Sovena

CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA BIODEISEL DE Colza

O presente ficheiro calcula as emissões de GEE e reduções das emissões do Ciclo de Vida do Biodiesel de Colza da Sovena em 2013 de acordo com a metodologia fornecida pelo Certificado de Sustentabilidade ISCC (ISCC 205 11-03-15 V 2,3-EU)



| Emissões de GEE Sovena - ISCC | | | |
|---|---|---------------|----------------|
| Matérias-primas e subsidiárias. Produtos e co-produtos. | | | |
| | | 2013 (ano) | |
| | | Mássico (ton) | Rendimento (%) |
| Extracção de óleo de Colza | Consumo de grãos de Colza (anual) | | |
| | Produção de óleo bruto de Colza (anual) | | |
| | Produção de farinha de Colza e cascas (anual) | | |
| | Consumo de solvente - Hexano (anual) | | |
| | Consumo de Energia Eléctrica (kWh) | | |
| | Consumo de Gás Natural (m ³) | | |
| | Consumo de Vapor (ton) | | |

Inputs Específicos do processo de produção da Sovena

Cálculos Confidenciais

¹⁴ As presentes tabelas são referentes ao ano de 2013 para a colza. Contudo, iguais tabelas de cálculo foram construídas para o estudo referente ao ano de 2014. As tabelas referentes à soja encontram-se no corpo da dissertação.

APÊNDICE IV – Consumos e Produções da Etapa de Pré-Tratamento do Óleo de Colza¹⁵ na Sovena

CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA
BIODEISEL DE Colza

O presente ficheiro calcula as emissões de GEE e reduções das emissões do Ciclo de Vida do Biodiesel de Colza da Sovena em 2013 de acordo com a metodologia fornecida pelo Certificado de Sustentabilidade ISCC (ISCC 205 11-03-15 V 2,3-EU)



| Emissões de GEE Sovena - ISCC | | | |
|---|---|---------------|----------------|
| Matérias-primas e subsidiárias. Produtos e co-produtos. | | | |
| | | 2013 (ano) | |
| | | Mássico (ton) | Rendimento (%) |
| Pré-Tratamento de óleo de Colza | Consumo de óleo bruto de Colza (anual) | | |
| | Produção de óleo de Colza neutro (anual) | | |
| | Produção de destilados: ácidos gordos (anual) | | |
| | Produção de massas (anual) | | |
| | Consumo de areias clarificantes (anual) | | |
| | Consumo de ácido fosfórico (anual) | | |
| | Consumo de ácido cítrico (anual) | | |
| | Consumo de soda caustica (anual) | | |
| | Consumo de Energia Eléctrica (kWh) | | |
| | Consumo de Gás Natural (m ³) | | |
| | Consumo de Vapor (ton) | | |
| | | | |

Inputs Específicos do processo de produção da Sovena

Cálculos Confidenciais

¹⁵ As presentes tabelas são referentes ao ano de 2013 para a colza. Contudo, iguais tabelas de cálculo foram construídas para o estudo referente ao ano de 2014. As tabelas referentes à soja encontram-se no corpo da dissertação.

APÊNDICE V – Consumos e Produções da Etapa de Transesterificação do Óleo de Colza¹⁶ na Sovena

CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA
BIODEISEL DE Colza

O presente ficheiro calcula as emissões de GEE e reduções das emissões do Ciclo de Vida do Biodiesel de Colza da Sovena em 2013 de acordo com a metodologia fornecida pelo Certificado de Sustentabilidade ISCC (ISCC 205 11-03-15 V 2,3-EU)



| Emissões de GEE Sovena - ISCC | | | |
|---|---|---------------|----------------|
| Matérias-primas e subsidiárias. Produtos e co-produtos. | | | |
| | | 2013 (ano) | |
| | | Mássico (ton) | Rendimento (%) |
| Produção de Biodiesel | Consumo total de óleos vegetais refinados e neutralizados (anual) | | |
| | Produção de Biodiesel (anual) | | |
| | Produção de Glicerina (anual) | | |
| | Consumo de metanol (anual) | | |
| | Consumo de metilato de sódio (anual) | | |
| | Consumo de ácido clorídrico (anual) | | |
| | Consumo de soda cáustica (anual) | | |
| | Consumo de ácido cítrico (anual) | | |
| | Consumo de antioxidante (anual) | | |
| | Consumo ácido sulfúrico (anual) | | |
| | Consumo de Energia Eléctrica (kWh) | | |
| | Consumo Gás Natural (m ³) | | |
| | Consumo de Vapor (ton) | | |

Inputs Específicos do processo de produção da Sovena

Cálculos Confidenciais

¹⁶ As presentes tabelas são referentes ao ano de 2013 para a colza. Contudo, iguais tabelas de cálculo foram construídas para o estudo referente ao ano de 2014. As tabelas referentes à soja encontram-se no corpo da dissertação.

APÊNDICE VI – Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Extracção do Óleo de Colza¹⁷ no Processamento na Sovena

CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA BIODEISEL DE Colza

O presente ficheiro calcula as emissões de GEE e reduções das emissões do Ciclo de Vida do Biodiesel de Colza da Sovena em 2013 de acordo com a metodologia fornecida pelo Certificado de Sustentabilidade ISCC (ISCC 205 11-03-15 V 2,3-EU)



| e _p - Emissões do processamento na Extracção | | | | |
|---|--|------|---|--|
| Cogeração | calor (cogeração) (kg/ano) | | EM _{calor consumido} (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF _{gás natural->calor (co-geração)} (kg CO ₂ eq/kg) | 4,06 | | |
| | electricidade (cogeração) (kWh/ano) | | EM _{electricidade consumida} (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF _{gás natural->electricidade (co-geração)} (kg CO ₂ eq/kWh) | 0,32 | | |
| | combustível consumido para fazer calor (kg/ano) | | EM _{calor produzido} (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF _{combustível (gás natural)} (kg CO ₂ eq/kg) | 3,16 | | |
| | inputs _{hexano} (kg/ano) | | EM _{inputs} (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF _{hexano} (kg CO ₂ eq/kg) | 3,63 | | |
| | waste water (l/ano) | | EM _{waste water} (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF _{waste water} (kg CO ₂ eq/l) | 0,00 | | |
| | rendimento _{produto principal} (kg/ano) | | | |
| | e _p (kg CO ₂ eq/kg óleo cru de colza) | | | |
| | e _p (kg CO ₂ eq/ton óleo cru de colza) | | | |
| Com alocação | e _p (kg CO ₂ eq/kg óleo cru de colza) | | Factor de Alocação Energética do óleo cru de colza (%) | |
| | e _p (kg CO ₂ eq/ton óleo cru de colza) | | | |
| | Dados/Cálculos Confidenciais | | | |

¹⁷ As presentes tabelas são referentes ao ano de 2013 para a colza. Contudo, iguais tabelas de cálculo foram construídas para o estudo referente ao ano de 2014. As tabelas referentes à soja encontram-se no corpo da dissertação.

APÊNDICE VII – Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Pré-Tratamento do Óleo de Colza¹⁸ no Processamento na Sovena

CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA BIODEISEL DE Colza

O presente ficheiro calcula as emissões de GEE e reduções das emissões do Ciclo de Vida do Biodiesel de Colza da Sovena em 2013 de acordo com a metodologia fornecida pelo Certificado de Sustentabilidade ISCC (ISCC 205 11-03-15 V 2,3-EU)



| e _p - Emissões do processamento no Pré-Tratamento | | | | |
|---|--|------|--|--|
| Cogeração | calor (cogeração) (kg/ano) | | EM calor consumido (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF gás natural->calor (co-geração) (kg CO ₂ eq/kg) | 4,06 | | |
| | electricidade (cogeração) (kWh/ano) | | EM electricidade consumida (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF gás natural->electricidade (co-geração) (kg CO ₂ eq/kWh) | 0,32 | | |
| | combustível consumido para fazer calor (kg/ano) | | EM calor produzido (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF combustível (gás natural) (kg CO ₂ eq/kg) | 3,16 | | |
| | inputs areias clarificantes (kg/ano) | | EM inputs (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF areias clarificantes (kg CO ₂ eq/kg) | 0,20 | | |
| | inputs ácido fosfórico (kg/ano) | | | |
| | EF ácido fosfórico (kg CO ₂ eq/kg) | 3,01 | | |
| | inputs soda cáustica (kg/ano) | | | |
| | EF soda cáustica (kg CO ₂ eq/kg) | 0,47 | | |
| | inputs ácido cítrico (kg/ano) | | | |
| | EF ácido cítrico (kg CO ₂ eq/kg) | 0,96 | | |
| | waste water (l/ano) | | EM waste water (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF waste water (kg CO ₂ eq/l) | 0,00 | | |
| rendimento produto principal (kg/ano) | | | | |
| e _p (kg CO ₂ eq/kg óleo neutro de colza) | | | | |
| e _p (kg CO ₂ eq/ton óleo neutro de colza) | | | | |

Dados/Cálculos Confidenciais

¹⁸ As presentes tabelas são referentes ao ano de 2013 para a colza. Contudo, iguais tabelas de cálculo foram construídas para o estudo referente ao ano de 2014. As tabelas referentes à soja encontram-se no corpo da dissertação.

APÊNDICE VIII – Emissões de GEE Resultantes da Etapa de Transesterificação do Óleo de Colza¹⁹ no Processamento na Sovena

CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA
BIODEISEL DE Colza

O presente ficheiro calcula as emissões de GEE e reduções das emissões do Ciclo de Vida do Biodiesel de Colza da Sovena em 2013 de acordo com a metodologia fornecida pelo Certificado de Sustentabilidade ISCC (ISCC 205 11-03-15 V 2,3-EU)



| e _p - Emissões do processamento na Transesterificação | | | | |
|--|--|------|--|--|
| Cogeração | calor (cogeração) (kg/ano) | | EM calor consumido (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF gás natural->calor (co-geração) (kg CO ₂ eq/kg) | 4,06 | | |
| | electricidade (cogeração) (kWh/ano) | | EM electricidade consumida (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF gás natural->electricidade (co-geração) (kg CO ₂ eq/kWh) | 0,32 | | |
| | combustível consumido para fazer calor (kg/ano) | | EM calor produzido (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF combustível (gás natural) (kg CO ₂ eq/kg) | 3,16 | | |
| | inputs metanol (kg/ano) | | EM inputs (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF metanol (kg CO ₂ eq/kg) | 1,25 | | |
| | inputs metilato de sódio (kg/ano) | | | |
| | EF metilato de sódio (kg CO ₂ eq/kg) | 4,89 | | |
| | inputs ácido clorídrico (kg/ano) | | | |
| | EF ácido clorídrico (kg CO ₂ eq/kg) | 0,75 | | |
| | inputs soda cáustica (kg/ano) | | | |
| | EF soda cáustica (kg CO ₂ eq/kg) | 0,47 | | |
| | inputs ácido cítrico (kg/ano) | | | |
| | EF ácido cítrico (kg CO ₂ eq/kg) | 0,96 | | |
| | inputs antioxidante (kg/ano) | | | |
| | EF antioxidante (kg CO ₂ eq/kg) | 10 | | |
| | inputs ácido sulfúrico (kg/ano) | | | |
| | EF ácido sulfúrico (kg CO ₂ eq/kg) | 0,21 | | |
| | waste water (l/ano) | | EM waste water (kg CO ₂ eq/ano) | |
| | EF waste water (kg CO ₂ /l) | 0,00 | | |
| rendimento produto principal (kg/ano) | | | | |
| e _p (kg CO ₂ eq/kg biodiesel) | | | | |
| e _p (kg CO ₂ eq/ton biodiesel) | | | | |
| Com alocação | e _p (kg CO ₂ eq/kg biodiesel) | | Factor de Alocação Energética do Biodiesel (%) | |
| | e _p (kg CO ₂ eq/ton biodiesel) | | | |

Dados/Cálculos Confidenciais

¹⁹ As presentes tabelas são referentes ao ano de 2013 para a colza. Contudo, iguais tabelas de cálculo foram construídas para o estudo referente ao ano de 2014. As tabelas referentes à soja encontram-se no corpo da dissertação.

APÊNDICE IX – Emissões de GEE Provenientes do Transporte por Camião: Colza²⁰

CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA
BIODEISEL DE Colza

O presente ficheiro calcula as emissões de GEE e reduções das emissões do Ciclo de Vida do Biodiesel de Colza da Sovena em 2013 de acordo com a metodologia fornecida pelo Certificado de Sustentabilidade ISCC (ISCC 205 11-03-15 V 2,3-EU)



e_{td} - Emissões do transporte e distribuição - Camião

| Camião | |
|---|------|
| <i>distância carregado (km)</i> | |
| <i>K_{carregado} (l/km)</i> | 0,49 |
| <i>distância descarregado (km)</i> | |
| <i>K_{descarregado} (l/km)</i> | 0,25 |
| <i>EF_{combustível} (kg CO₂eq/l)</i> | 3,14 |
| <i>m=quantidade de produto transportado (ton)</i> | |

| | |
|---|--|
| <i>e_{td} camião (kg CO₂eq/kg)</i> | |
| <i>e_{td} camião (kg CO₂eq/ton)</i> | |

²⁰ As presentes tabelas são referentes ao ano de 2013 para a colza. Contudo, iguais tabelas de cálculo foram construídas para o estudo referente ao ano de 2014. As tabelas referentes à soja encontram-se no corpo da dissertação.

APÊNDICE X – Emissões de GEE Provenientes do Transporte por Navio: Colza²¹

CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA BIODEISEL DE Colza

O presente ficheiro calcula as emissões de GEE e reduções das emissões do Ciclo de Vida do Biodiesel de Colza da Sovena em 2013 de acordo com a metodologia fornecida pelo Certificado de Sustentabilidade ISCC (ISCC 205 11-03-15 V 2,3-EU)



e_{td} - Emissões do transporte e distribuição - Navio

| Navio | |
|--|---------|
| <i>distância carregado (km)</i> | |
| <i>K_{carregado} (l/ton km)</i> | 0,00208 |
| <i>distância descarregado (km)</i> | 0 |
| <i>K_{descarregado} (l/km)</i> | 0 |
| <i>EF_{combustível} (kg CO₂eq/l)</i> | 3,42 |
| $e_{td \text{ navio}}$ (kg CO₂eq/kg) | |
| $e_{td \text{ navio}}$ (kg CO₂eq/ton) | |

²¹ As presentes tabelas são referentes ao ano de 2013 para a colza. Contudo, iguais tabelas de cálculo foram construídas para o estudo referente ao ano de 2014. As tabelas referentes à soja encontram-se no corpo da dissertação.

APÊNDICE XI – Emissões de GEE Provenientes do Transporte por Comboio: Colza²²

CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA
BIODEISEL DE Colza

O presente ficheiro calcula as emissões de GEE e reduções das emissões do Ciclo de Vida do Biodiesel de Colza da Sovena em 2013 de acordo com a metodologia fornecida pelo Certificado de Sustentabilidade ISCC (ISCC 205 11-03-15 V 2,3-EU)



| e_{td} - Emissões do transporte e distribuição - Comboio | |
|--|-------------|
| Comboio | |
| <i>distância carregado (km)</i> | |
| $K_{carregado}$ (MJ/ton km) | 0,21 |
| <i>distância descarregado (km)</i> | 0 |
| $K_{descarregado}$ (l/km) | 0 |
| $EF_{combustível}$ (kg CO ₂ eq/MJ)=Mix EU/Factor de Conversão | |
| Mix EU (kg CO ₂ eq/kWh) | 0,47 |
| Factor de conversão | 1kWh=3,6 MJ |
| $EF_{combustível}$ (kg CO ₂ eq/MJ) | 0,13056 |
| $e_{td\ comboio}$ (kg CO ₂ eq/kg) | |
| $e_{td\ comboio}$ (kg CO ₂ eq/ton) | |

²² As presentes tabelas são referentes ao ano de 2013 para a colza. Contudo, iguais tabelas de cálculo foram construídas para o estudo referente ao ano de 2014. As tabelas referentes à soja encontram-se no corpo da dissertação.

APÊNDICE XII – Redução de Emissões de GEE Resultantes da Produção Excedentária de Electricidade no Co-geração na Sovena: Colza²³

CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA BIODEISEL DE Colza

O presente ficheiro calcula as emissões de GEE e reduções das emissões do Ciclo de Vida do Biodiesel de Colza da Sovena em 2013 de acordo com a metodologia fornecida pelo Certificado de Sustentabilidade ISCC (ISCC 205 11-03-15 V 2,3-EU)



| e _{ee} - Redução de Emissões da Electricidade Excedente produzida na Cogeração (eee) 2013 | | |
|--|---------------------------------|---|
| Unidade de Co-geração | | |
| Combustível Utilizado | Produção de Electricidade (kWh) | Produção de Calor (GJ) - Vapor de água a 14 bar |
| Tipo | | |
| Gás Natural | | |
| | Produto Principal (kg/ano) | Consumo de Electricidade (kWh/ano) |
| Óleo bruto de Colza (Extracção) | | |
| Óleo de Colza neutro (Pré-Tratamento) | | |
| Óleo bruto de Soja (Extracção) | | |
| Óleo de Soja neutro (Pré-Tratamento) | | |
| Biodiesel (Transesterificação) | | |
| | Total (kg/ano) | Total (kWh/ano) |
| | | |

| Inputs Específicos do processo de produção da Sovena | Electricidade Produzida na Cogeração (kWh) |
|--|--|
| | |
| | Consumo Total de Electricidade (kWh) |
| | |
| | Total de Electricidade Excedentária (kWh) |
| | |

| | |
|---|------|
| Electricidade Excedentária (kWh/ano) | |
| EF _{combustível} (kg CO ₂ /kWh) | 0,43 |
| rendimento _{produto principal} (kg/ano) | |

| | |
|---|--|
| e _{ee} (kg CO ₂ /kg) | |
| e _{ee} (kg CO ₂ /ton) | |

²³ As presentes tabelas são referentes ao ano de 2013 para a colza. Contudo, iguais tabelas de cálculo foram construídas para o estudo referente ao ano de 2014. As tabelas referentes à soja encontram-se no corpo da dissertação.

APÊNDICE XIII – Cálculo dos Factores de Alocação Energética dos Produtos da Cadeia de Produção de Biodiesel de Colza²⁴ na Sovena

CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA
BIODEISEL DE Colza

O presente ficheiro calcula as emissões de GEE e reduções das emissões do Ciclo de Vida do Biodiesel de Colza da Sovena em 2013 de acordo com a metodologia fornecida pelo Certificado de Sustentabilidade ISCC (ISCC 205 11-03-15 V 2,3-EU)



| Factor de alocação energética | |
|--|----|
| Extracção | |
| Rendimento óleo bruto de colza (produto) | |
| Rendimento da farinha de colza (co-produto) | |
| | MJ |
| Conteúdo de energia do óleo bruto de colza (produto) | |
| Conteúdo de energia da farinha de colza (co-produto) | |
| Factor de alocação energética óleo bruto de colza (produto) | |
| Factor de alocação energética da farinha de colza (co-produto) | |
| Total | |
| Transesterificação | |
| Rendimento biodiesel (produto) | |
| Rendimento glicerina (co-produto) | |
| | MJ |
| Conteúdo de energia do biodiesel (produto) | |
| Conteúdo de energia da glicerina (co-produto) | |
| Factor de alocação energética biodiesel (produto) | |
| Factor de alocação energética glicerina (co-produto) | |
| Total | |
| Dados/Cálculos Confidenciais | |

²⁴ As presentes tabelas são referentes ao ano de 2013 para a colza. Contudo, iguais tabelas de cálculo foram construídas para o estudo referente ao ano de 2014. As tabelas referentes à soja encontram-se no corpo da dissertação.

APÊNDICE XIV – Inventários BioGrace-JEC (JEC, 2008b) (BioGrace, 2008)

| | | Hexano (kg/ton óleo bruto) | Ácido Fosfórico (80-85% em água) (kg/ton óleo neutro) | Areias Clarificantes (kg/ton óleo neutro) | Ácido Cítrico (kg/ton biodiesel) | Soda Cáustica (50% em água) (kg/ton biodiesel) |
|--|--|-------------------------------|---|---|-------------------------------------|---|
| BioGrace-JEC (valores por defeito) | Soja BioGrace-JEC (valores por defeito) | 5,21* kg/ton óleo bruto | 2,38 kg/ton óleo neutro | 8,40 kg/ton óleo neutro | 0,00 kg/ton biodiesel | 9,41 kg/ton biodiesel |
| | Colza BioGrace-JEC (valores por defeito) | 3,46* kg/ton óleo bruto | 2,38 kg/ton óleo neutro | 8,40 kg/ton óleo neutro | 0,00 kg/ton biodiesel | 9,41 kg/ton biodiesel |
| | | Metanol (kg/ton biodiesel) | Metilato de Sódio (kg/ton biodiesel) | Ácido Clorídrico (30% em água) (kg/ton biodiesel) | Antioxidante (kg/ton biodiesel) | Ácido Sulfúrico (kg/ton biodiesel) |
| BioGrace-JEC (valores por defeito) | Soja BioGrace-JEC (valores por defeito) | 152,60 kg/ton biodiesel | 0,00 kg/ton biodiesel | 28,00 kg/ton biodiesel | 0,00 kg/ton biodiesel | 0,00 kg/ton biodiesel |
| | Colza BioGrace-JEC (valores por defeito) | 152,60 kg/ton biodiesel | 0,00 kg/ton biodiesel | 28,00 kg/ton biodiesel | 0,00 kg/ton biodiesel | 0,00 kg/ton biodiesel |

*Conversão do valor por defeito para o Hexano:

| | kg hexano/ton semente | kg óleo bruto/ton semente | kg hexano/kg óleo bruto | kg hexano/ton óleo bruto |
|---|-----------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Conversão do default hexano na soja | 0,98 | 188 | 0,005212766 | 5,21 |
| | kg hexano/ton semente | kg óleo bruto/kg semente | kg hexano/kg óleo bruto | kg hexano/ton óleo bruto |
| Conversão do default hexano na colza | 1,4 | 0,405 | 0,00345679 | 3,46 |

| | | | <i>Electricidade (kWh)</i> | <i>Vapor de Água (ton)</i> | <i>Vapor de Água (MJ)</i> |
|---|------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| BioGrace-JEC (valores por defeito) | Soja (valores por defeito) | Extracção | | | |
| | | Coeficiente | 446,81* <i>kWh/ton óleo bruto</i> | 3,73 <i>ton/ton óleo bruto</i> | 7 446,81* <i>MJ/ton óleo bruto</i> |
| | | Pré-Tratamento | | | |
| | | Coeficiente | 8,40 <i>kWh/ton óleo neutro</i> | 0,21 <i>ton/ton óleo neutro</i> | 414,40 <i>MJ/ton óleo neutro</i> |
| | | Transesterificação | | | |
| | | Coeficiente | 42,00 <i>kWh/ton biodiesel</i> | 1,08 <i>ton/ton biodiesel</i> | 2 163,00 <i>MJ/ton biodiesel</i> |
| | Colza (valores por defeito) | Extracção | | | |
| | | Coeficiente | 117,53* <i>kWh/ton óleo bruto</i> | 1,00 <i>ton/ton óleo bruto</i> | 2 004,94* <i>MJ/ton óleo bruto</i> |
| | | Pré-Tratamento | | | |
| | | Coeficiente | 8,40 <i>kWh/ton óleo neutro</i> | 0,21 <i>ton/ton óleo neutro</i> | 414,40 <i>MJ/ton óleo neutro</i> |
| | | Transesterificação | | | |
| | | Coeficiente | 42,00 <i>kWh/ton biodiesel</i> | 1,08 <i>ton/ton biodiesel</i> | 2 163,00 <i>MJ/ton biodiesel</i> |

***Conversão do valor por defeito da electricidade na extracção da soja**

| | <i>kWh/ton semente</i> | <i>kg óleo bruto/ton semente</i> | <i>kWh/ton óleo bruto</i> |
|------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Extracção | 84 | 188 | 446,81 |

***Conversão do valor por defeito da electricidade na extracção da colza**

| | <i>kWh/ton semente</i> | <i>kg óleo bruto/kg semente</i> | <i>kWh/ton óleo bruto</i> |
|------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Extracção | 47,6 | 0,405 | 117,53 |

***Conversão do valor por defeito do vapor na extracção da soja**

| | <i>MJ/ton semente</i> | <i>kg óleo bruto/ton semente</i> | <i>MJ/ton óleo bruto</i> |
|------------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Extracção | 1400 | 188 | 7 446,81 |

***Conversão do valor por defeito do vapor na extracção da colza**

| | <i>MJ/ton semente</i> | <i>kg óleo bruto/kg semente</i> | <i>MJ/ton óleo bruto</i> |
|------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Extracção | 812 | 0,405 | 2 004,94 |

